MUNIBE (Antropologia-Arkeologia)	nº 50	15-91	SAN SEBASTIAN	1998	ISSN 1132-2217

Aceptado: 1998-10-6

Los conceptos de Estadio e Interestadio. Bases para un análisis ecosistémico.

The Stadial and Interstadial concepts. Basis for an ecosystemic analysis.

PALABRAS CLAVE: Estadio/Interestadio, Reconstrucción paleoambiental, Paleoclimas, Análisis ecosistémico.
KEY WORDS: Stadial/Interstadial, Palaeoenvironmental reconstruction, Palaeoclimate, Ecosystemic analysis.

José FURUNDARENA*
José Manuel JIMENEZ*

RESUMEN

En el presente trabajo se propone una revisión crítica de aquellos métodos de análisis paleoambiental utilizados hasta hoy, como pueden ser la geología, las medidas isotópicas, la palinología o la paleontología. Con ello se pretende demostrar que ninguno de ellos posee la capacidad de reconstruir climas ni ecosistemas antiguos a partir de su comparación con caracteres modernos (actualismo).

Los autores proponen un método basado inicialmente en el método de Hokr revisado. Este, junto con los análisis polínicos e isotópicos, tiene como objeto definir límites para parámetros climáticos lo suficientemente precisos como para una mayor aproximación a la reconstrucción de climas y ecosistemas concretos. De esta forma se redefinen tanto el concepto de estadio/interestadio como otros de carácter climático y ecológico para los períodos glaciales.

SUMMARY

A critical review is proposed in this work for the paleoenviromental analysis method utilized until the present time as geology, the isotopic measures, pallynology or paleontology. It tryes to prove that none of them have the ability to reconstruct, neither the climate nor the ancient ecosystems starting from a modern character comparison (actualism).

The authors are proposing a method initially based on the reviewed Hokr's method. The aim of it together with the pollinic and isotopic analysis, is to determine accurate enough limits for climate parameters to allow a better approach to climate reconstruction and specific ecosystems. In this way the stadial/interstadial concept is redefined as well as others of climatic and ecological nature for the glacial periods.

LABURPENA

Honoko lan honetan, gaurarte erabili izan diren paleoanbientea aztertzeko metodoen - geologia, neurri isotopikoak, palinologia, paleontologia - berrikuste kritiko bat proposatzen da. Honekin, euretako batek ere ez duela, egungoekin erkatuz (aktualismoa), aintzinako klimarik ez ekosistemarik berregin.

Autoreek hasiera baten berrikusitako Hokr-en metodoan oinarritzen den metodo bat proposatzen dute. Honek, azterketa poliniko eta isotopikoekin batera, klima eta ekosistema jakin batzuren berregiketara gehiago hurreratzeko beharrezko zehaztasuna duten parametro klimatikoentzako mugak zehaztea du helburu. Honela izozte garaia estadiala/interestadiala kontzeptuak nalanola izaera klimatiko eta ekologikodun beste batzuk berriz definitzen dira.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN

II. ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN
1. El concepto clásico de glaciación.
2. Los nuevos métodos de análisis.
3. La secuencia glacial - interglacial a escala planetaria.
4. La glaciación wurmiense: cronoestratigrafía clásica y nuevos modelos de análisis.
5. El tardiglacial würmiense: cronoestratigrafía y secuenciapolínica.
6. El concepto de estadio e interestadio. Origen y consecuencias.

III. ESTUDIO CRÍTICO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS PALEOAMBIENTAL
1. La sedimentología y la geoquímica.
2. La palinología.
3. Los análisis faunísticos. Límites y métodos.
4. Los coeficientes climáticos.

* Becarios FPI, Gobierno Vasco. Facultad de Filosofía y Letras. Departamento de Ciencias Históricas. Universidad de Deusto. Avenida de las Universidades s/n, 48080 Bilbao.

5. Los sistemas isotópicos y las secuencias globales.
6. Conclusiones.

IV. LOS CONCEPTOS DE PALEOAMBIENTE Y DE CAMBIO AMBIENTAL
1. El concepto de clima a escala.
2. Ecosistemas y límites climáticos.
3. La composición interna de los ecosistemas: el biotopo.
4. Metodología.

V. METODOLOGÍA PARA UN ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LOS ECOSISTEMAS WÜRMIENSES
1. Conceptos preliminares.
2. Definición de espacio para datos paleoclimáticos partiendo de un lugar concreto.
3. Definición de tiempo para datos paleoclimáticos.

VI. ANÁLISIS DE DATOS PALEOCLIMÁTICOS. METODOLOGÍA BÁSICA
1. Datos climáticos a partir de análisis polínicos y faunísticos.
2. Inclusión de datos paleoclimáticos en los climas actuales.
3. Inferencia de los paleoecosistemas.

VII. CONCLUSIÓN

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

I. INTRODUCCIÓN

Durante las dos últimas décadas, los investigadores del Paleolítico venimos asistiendo a una importante controversia que afecta profundamente al conocimiento de nuestra disciplina. El Paleolítico en Europa está fuertemente ligado a los denominados períodos glaciales. Las variaciones a gran escala del clima global han sido el marco en el cual se desarrollaron las culturas prehistóricas. Estas variaciones climáticas y sus consecuencias han permitido la ubicación tanto espacial como cronológica de esas grandes culturas del Pleistoceno europeo, además de procurar un abundante y rico material de discusión acerca de las interrelaciones entre los grupos humanos y el ambiente en que se desenvolvieron.

A lo largo del siglo pasado y primera mitad del presente el método de análisis se basó en el modelo de la sedimentología del Cuaternario, que permitía tanto un análisis cronológico relativo como una lectura climática de los procesos de formación geológica.

A partir de mediados del siglo XX, el extraordinario desarrollo de nuevas ciencias como la física atómica, la ecología o la palinología, así como la introducción de la informática como herramienta de análisis, dieron origen a una nueva visión del problema. Para los arqueólogos que utilizaban el paradigma de la geología estos nuevos métodos les permitían perfeccionar y matizar los datos, sólidamente establecidos, a partir del análisis estratigráfico. Sin embargo, una nueva generación de investigadores ha puesto en cuestión la capacidad de la estratigrafía para definir fases climáticas.

Los investigadores que se basan en la palinología, en medidas isotópicas, etc... consideran que sus métodos de análisis poseen una ventaja esencial frente a la sedimentología: el actualismo. Éste permite analizar el pasado a partir de las condiciones presentes. Ello ha dado origen a una polémica centrada fundamentalmente en la existencia de fases (interestadios) en el interior de las grandes glaciaciones que tuvieron lugar durante el Cuaternario, a partir de una nueva concepción (ecológica) del término. Es por todo ello que las diferencias en los postulados de quienes se dedican a este aspecto de la prehistoria tengan tanta importancia. Cualquier avance importante implica no sólo una relectura de la relación de los grupos humanos y sus adaptaciones, cristalizados en las distintas y determinables culturas arqueológicas, sino incluso una reordenación cronológica de las mismas. Con el fin de definir las causas y consecuencias de esta polémica nos hemos decidido a realizar un análisis tanto de las diferentes "metodologías" implicadas como de los "conceptos" vertidos en ellas.

II. ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN

1. El concepto clásico de glaciación.

Este no sería el marco más idóneo para una exposición sobre la historia de los descubrimientos que permitieron un mayor acercamiento a la evolución climática del planeta a lo largo del Pleistoceno, si no fuera porque un somero conocimiento de la misma es vital para comprender el estado actual de la cuestión.

La base de nuestro conocimiento sobre la prehistoria tiene un arranque en la revolución conceptual del siglo XIX, que permitió sustituir la visión estática del mundo por otra dinámica y evolutiva. Los primeros creadores de la prehistoria y de la arqueología, como B. DE PERTHES, E. LARTET o G. de MORTILLET, partieron del principio de la progresiva evolución de la cultura humana, inherente al hombre como especie, y reflejada en la evolución de los artefactos líticos. Este esfuerzo hubiera resultado baldío sin un marco cronológico que permitiese a los diferentes "conjuntos líticos", caracterizados como grupos culturales,

tener un marco temporal claro en el que desarrollarse.

La revolución científica decimonónica abarcó la práctica totalidad de los campos del conocimiento reconocidos. Uno de ellos fue el de la ciencia de la tierra, la geología. La percepción de que la corteza terrestre no es algo estático, sino que se halla en continuo cambio debido a procesos de "orogénesis" o elevación de montañas, destrucción de las mismas por la actuación de los agentes erosivos y la acumulación de los restos en grandes cubetas sedimentarias, revolucionó la visión existente de nuestro paisaje cotidiano (al menos a largo plazo). Desde el punto de vista de los prehistoriadores, la más influyente de estas obras fue sin lugar a dudas los *Principios de Geología,* de LYELL, editada en 1830.

Las afirmaciones de que todo conjunto sedimentario está compuesto por una sucesiva acumulación de materiales, aportados por distintos procedimientos de arrastre y deposición; de que estos, dependiendo de su origen, textura, tipo de factor erosivo, etc..., todos ellos determinables, podían subdividirse en sucesivas capas diferenciables, los estratos; y el que los estratos más profundos eran más antiguos que los situados más arriba, fue clave para la creación de un marco cronológico donde encajar los artefactos encontrados.

La determinación geológica de los períodos glaciales marcó un hito clave para el desarrollo de la arqueología europea. Ya a fines del siglo XVIII algunos geógrafos y naturalistas, como GAUSSURE, CHARPENTIER o FYNDALL, habían observado la relación existente entre los glaciales, tanto los alpinos como los septentrionales, y determinados fenómenos como los canchales de rocas en el extremo de las lenguas glaciares (morrenas), los valles en "U", y otros como la gelivación. La aparición de la obra de LYELL dio a estas observaciones un marco conceptual en el que desarrollarse. En 1840 L. AGASSIZ, naturalista que había observado los fenómenos glaciales, dio el siguiente paso al afirmar que muchas de las formaciones geológicas de los Alpes procedían de la erosión de origen glacial y que ésta, en tiempos antiguos, había sido más amplia e intensa. Hacia 1909, dos investigadores alemanes, PENCK y BRUCKNER, en un monumental trabajo que rastreaba todas las evidencias geomorfológicas posibles, llegaron a la conclusión de la existencia de cuatro fases de fuerte enfriamiento a

	Polaridad	Estadios de la muestra V28-238	Años b.p. estimados en V28-238	Ciclos de K708-7	Ciclos del loess	Terrazas de Brno	Terrazas alpinas	Sucesión de Kärlich	Norte de Europa	Islas Británicas	Macedonia
PLEISTOCENO SUPERIOR		1 2 3 4 5a 5b 5c 5d	13.000	A B	B	CK1	Würm	J	Weichsel	Devenienses	
	Blake	5e	118.000						Eemiense (Schleswig-Holstein)	Ipswichiense (Trafalgar Square)	Pangaion
	BRUHNES	6 7a 7b 7c	128.000	C	C		Riss-Würm	Ja	Warthe Eemiense (Norte de Alemania)	Ipswichiense Brandon ?	Symvolon
PLEISTOCENO MEDIO		8 9	251.000 347.000	D	D	CK2	Riss	H	Reburgh Eemiense (Amersfoort)	Wolstoniense Ipswichiense Ilford	
		10 11	440.000	E	E				Saale "Holstein"	Anglíense Hoxne	Complejo de Lekanis
		12 13	502.000	F	F		Mindel-Riss	G	Elster Holstein	Anglíense Hoxne	
		14 15	592.000	G	G			F		Cromeriense	Complejo de Boz Dagh
		16 17	647.000	H	H	CK3	Mindel		Elster Cromeriense	Bestoniense Pastoniense	
		18 19	730.000		I		Günz-Mindel	Bb C D E	Cromeriense		
PLEISTOCENO INFERIOR	MATUYAMA	20 21	782.000		J	CK4	Günz Donau-Günz	Ba	Cromeriense		
		22 23	900.000		K				Menapiense		
	Jaramillo	24				CK5					
	Olduvai		1.610.000								

Tab. 1. Correlaciones del Pleistoceno en Europa (BOWEN 1978, en GAMBLE 1990, p. 94).

nivel planetario, que determinaron la extensión de los glaciares alpinos: fases denominadas Günz, Mindel, Riss y Würm, separadas por períodos templados o interglaciales. A partir de ese momento todas las investigaciones se centraron en la reconstrucción de los ciclos glaciales así como de sus consecuencias. Se ampliaron los márgenes cronológicos con el descubrimiento de depósitos de una anterior glaciación al Günz, el Donau e incluso otra más antigua, el Biber. Trabajos como los de BRUNNACKER en el Rhin y ZAGWIJN en Holanda, sobre la correlación de las terrazas fluviales y los ciclos glaciales y los estudios de KUKLA sobre los depósitos de loess en época glacial, separados entre sí por suelos vegetales interglaciales (fases de biostasis), permitieron ampliar nuestros conocimientos acerca de las consecuencias originadas por dichas fases frías. El resultado de todo ello es un cuadro del sincronismo glacial entre diferentes partes de Europa (tabla 1).

Desde el último cuarto del siglo pasado, las cronologías de base geológica, enmarcadas por los grandes ciclos glaciales, sirvieron de base para el análisis de la evolución de las más antiguas culturas humanas. Evidentemente, para muchos investigadores, las variaciones climáticas debían implicar variaciones tanto a nivel botánico como faunístico. Esto último era muy evidente por la presencia en áreas meridionales, como el sur de Francia, de especies características de climas periglaciales o incluso glaciales, como por ejemplo *Rangifer tarandus, Ovibos moschatus, Alopex lagopus,* etc... Progresivamente los estudios de fauna, como la secuencia de KRETZOI y JANOSSY para Centroeuropa o la de CHALINE para los micromamíferos de Francia, permitían secuencias que se pretendian correlacionar con los grandes ciclos climáticos propuestos por la geología para el Pleistoceno. Los estudios se han ido ampliando progresivamente hacia los estudios polínicos.

2. Los nuevos métodos de análisis.

Los sistemas de análisis climáticos basados en correlaciones geomorfológicas y sedimentarias, así como los análisis de los restos zoológicos y botánicos incluidos en ellas, se caracterizan por carecer siempre de dos cualidades esenciales a la hora de determinar una secuencia cronológica.

- *Continuidad.* No existe ninguna secuencia de tipo geomorfológico o sedimentario que abarque grandes períodos de tiempo. Las secuencias son, o bien en sí mismas discontinuas, o bien se hallan alteradas por diversos factores, como por ejemplo la erosión, que actuaron con posterioridad a su formación.

- *Carencia de valores absolutos.* La constatación geológica de un período glacial nos dice muy poco sobre su valor absoluto. Los valores obtenidos son siempre relativos y, lo que es peor, son relativos en sí mismos. Por ejemplo, dos morrenas terminales identificadas como pertenecientes a dos períodos glaciales diferentes sólo nos indica qué período glacial fue más intenso y cuál de ambos es el más antiguo. Sin embargo no nos informa ni de las condiciones climáticas concretas, temperatura y precipitaciones, ni de su cronología o duración.

La discontinuidad del registro era especialmente preocupante al intentar correlacionar las secuencias de evidencias pertenecientes a distintas áreas e incluso suponían problemas en la identificación de la secuencia alpina. Así, los depósitos que para PENCK correspondían al Günz, eran atribuidos al Mindel por EBERL.

A partir de los años 50, de nuestro siglo, el avance de las técnicas de datación absoluta así como el extraordinario desarrollo de la física atómica, dio como resultado la aparición de tres elementos esenciales de análisis que variaron la visión de las sucesiones climáticas del Pleistoceno europeo. La primera será la aparición del método del C^{14}, que posibilitaba fechar periodos posteriores al 40.000 BP. El segundo, el Potasio/Argón, que permitía datar las muestras oceánicas y volcánicas más antiguas. El tercero fue el sistema de O^{16}/O^{18}, que se empleaba para conocer las variaciones de la temperatura global del planeta tanto en los sedimentos marinos como en los casquetes polares. La combinación de estos tres métodos, cronología absoluta C^{14}, K/Ar y variación global de temperatura O^{16}/O^{18}, permitió la creación de un mapa crono-climático relativamente fiable.

3. La secuencia glacial-interglacial a escala planetaria.

En los océanos, los foraminíferos (organismos unicelulares recubiertos de esqueletos de carbonato cálcico) absorbían en sus estructuras permanentes una proporción estándar entre el O^{16} y O^{18} existente en el océano durante su período de vida. Una vez muertos, estas estructuras se sedimentaban dejando un archivo de las variaciones de O^{16}/O^{18}. Por su parte, las burbujas de aire que quedaban atrapadas en los hielos polares debían indicar una secuencia cronológicamente simétrica pero inversa a la de los océanos. Al tener nosotros conocimiento de la relación actual en la atmósfera y los océanos de los isótopos de oxígeno, así como la temperatura global de la Tierra, resultaría muy fácil cuantificar las variaciones. La relación entre los dos isótopos nos proporcionaría el volumen relativo de los océanos y de los hielos polares y, por deducción directa, la temperatura global del planeta.

Los estudios sobre las variaciones del O^{16}/O^{18} han sido llevados a cabo por investigadores anglosajones en el Océano Pacífico y nos permiten conocer las variaciones del clima global durante los últimos 730.000 años, a partir de la última inversión magnética Brunhes-Matuyana. Ésta, datada por el método del Potasio-Argón, indica la presencia de 19 períodos alternativamente fríos-cálidos, los ciclos fríos (glaciales) indicados con número par y los cálidos (interglacial) con número impar (figura 1)

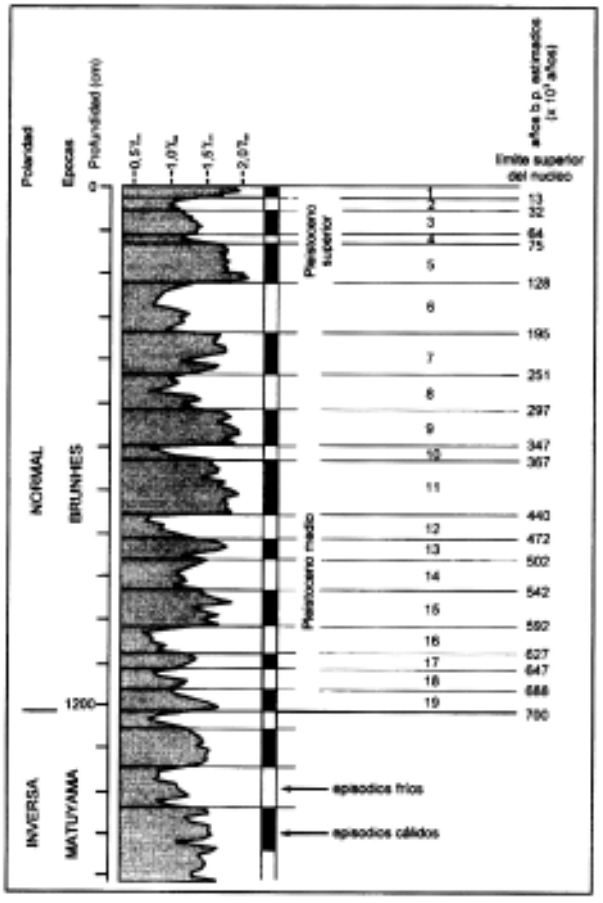


Fig. 1. Registro estratigráfico del Pleistoceno a partir de la muestra V28-238, tomada en Plateau Salomon (según SHACKLETON y OPDIKE 1973, en GAMBLE 1990, p. 92).

Una segunda secuencia, coincidente con la anterior pero más corta, se ha registrado en el Océano Índico, que toma unos 300.000 años, obtenidos por calibración del proceso sedimentario a partir de la última inversión magnética. Así mismo, el paso de la etapa 5 a la 6 se midió por radiometría de Potasio-Argón en torno a 125.000-130.000 BP (figura 2).

En 1972 un equipo de investigadores, compuesto por JOHNSEN, DANSGAARD, CLAUSEN y LANGWAY, perforaron una capa de hielo en Camp Century, Groenlandia, dando como resultado una curva isotópica que, a grandes rasgos, coincidía con las anteriores (GAMBLE 1990). Esta curva abarca un período de unos 125.000 años, comprendiendo el último ciclo interglacial-glacial (Pleistoceno superior) y el Holoceno. A partir de ese momento el modelo de correlación cronoclimática partía de una secuencia que era, o eso pretendían los especialistas anglosajones, continua. Este marco de referencia no sólo estaba datado sino que permitía cuantificar las variaciones climáticas.

Hacia mediados de los años Setenta, una generación de especialistas se puso a trabajar con el fin de correlacionar todos los indicios disponibles en una única serie partiendo del sistema de referencia isotópica. El primero de estos trabajos fue realizado por D.Q. BOWEN, en su artículo de 1979 *Quaternary Correlations,* que sucintamente se puede analizar en la figura 3 para el Pleistoceno superior.

Este cuadro es indicativo de los nuevos modelos de análisis propuestos en los últimos años. Desde abajo hacia arriba pueden verse las temperaturas globales en los hielos de Groenlandia, Camp Century, la extensión de los hielos polares (RUDDIMAN y MCINTYRE 1976), las variaciones del nivel del mar (PETERSON et al. 1979), las temperaturas relativas de la superficie del océano N.E. a través de la sucesión de especies de foraminíferos (RUDDIMAN y MCINTYRE 1976), las temperaturas en Julio en Inglaterra a partir de las faunas de coleópteros (COOPE *et al.* 1971; COOPE 1977) y, por último los estudios polínicos en Macedonia, Tenaghi-Phillipon (VAN DER HAMMEN, en GAMBLE 1990), la turbera de Grande Pile (WOILLARD 1978) y las secuencias alemana y holandesa en turberas (SHOTTON; VAN DER HAMMEN, en GAMBLE 1990).

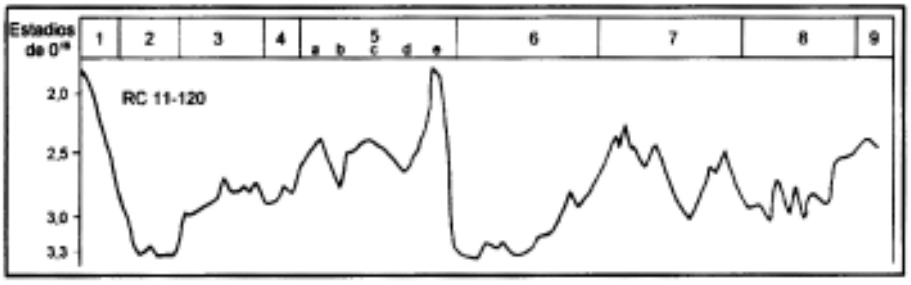


Fig. 2. Secuencia del Pleistoceno superior obtenida de la muestra RC11-120 (según HAYS, IMBRIE y SHACKLETON 1976, en GAMBLE 1990, p. 99).

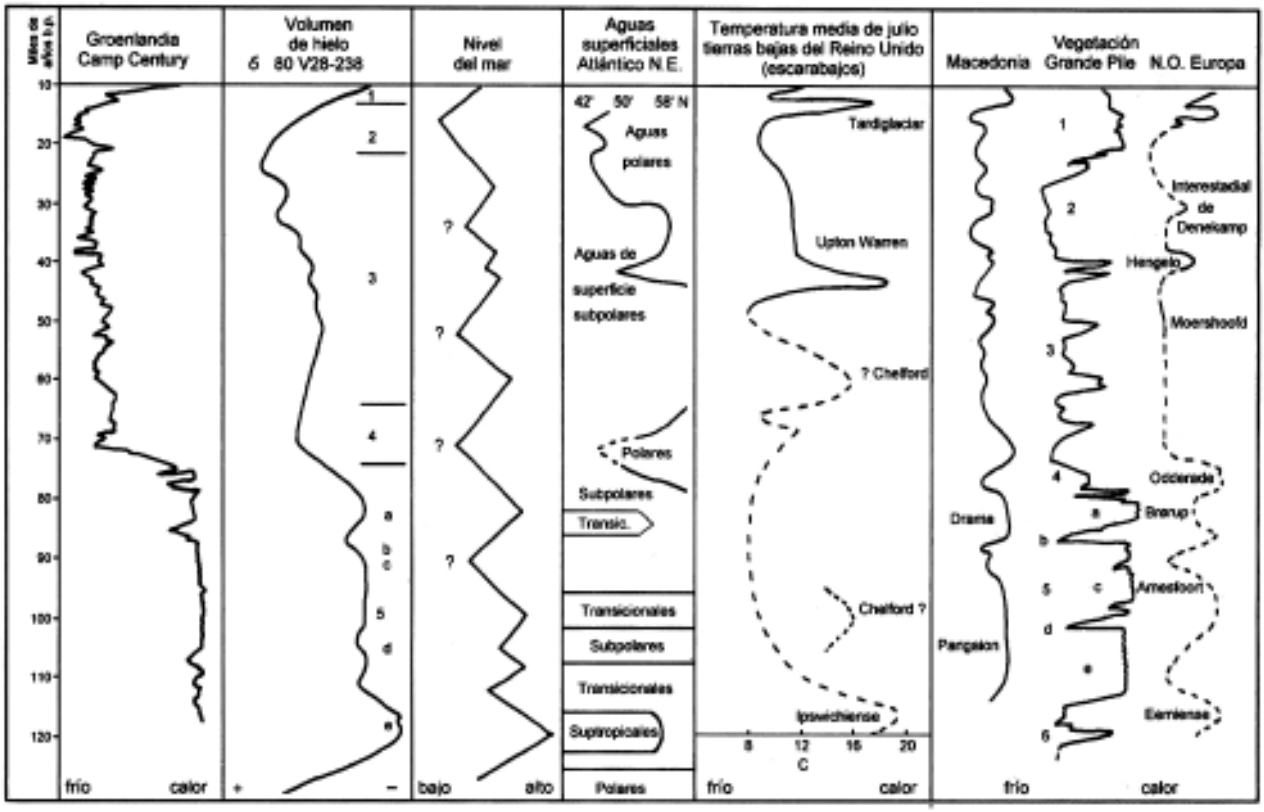


Fig. 3 Curvas estratigráficas del Pleistoceno superior desde diferentes modelos de análisis (según BOWEN 1978, WOILLARD 1980, en GAMBLE 1990, p.100).

4. La glaciación würmiense: cronoestratigrafía clásica y nuevos modelos de análisis.

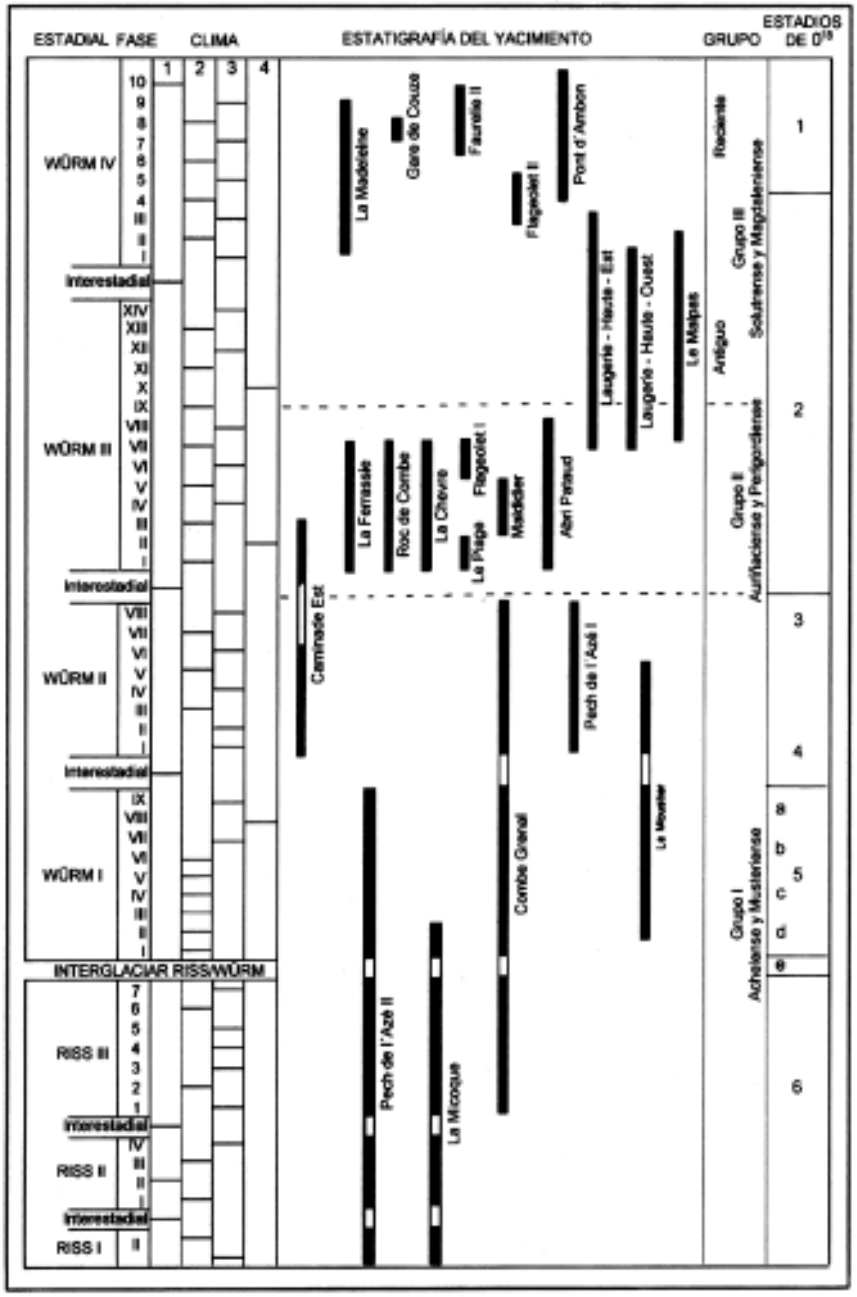
La aparición de estos nuevos modelos de análisis debería haber dado origen, de forma aparente, a un replanteamiento de los modelos cronológicos tanto del Pleistoceno como del Paleolítico europeo. En los países anglosajones, el modelo deducido a partir de las nuevas técnicas se ha impuesto totalmente. Para C. GAMBLE la aparición de la cronología absoluta basada en el Potasio-Argón y los registros continuos de variación climática O^{16}/O^{18} han supuesto el cese definitivo del modelo clásico como marco cronológico del Pleistoceno (GAMBLE 1990). Éste último reconoce sin embargo que el modelo clásico continúa empleándose como referencia en amplias regiones de Europa, tanto en Francia (LAVILLE *et al.* 1980) como en Rumania (CARCIUMARU) o en la antigua Unión Soviética (QUATERNARY SISTEMA). Evidentemente, si el modelo cronoestratigráfico carece de las cualidades de continuidad y del carácter absoluto en sus lecturas ambientales sería extraño que se mantuviese en uso. Sin embargo, los modelos de análisis ambiental basados en un único rango (O^{16}/O^{18}, polen de turberas, foraminíferos marinos) poseen una carencia que para el arqueólogo europeo es de vital importancia: la falta de una relación directa con los conjuntos industriales.

La cronoestratigrafía clásica basada en la geología posee, a nivel arqueológico, una ventaja fundamental con respecto a cualquier otro modelo. Un estrato fértil permite un análisis multidisciplinar que nos proporciona un conjunto de datos medioambientales directamente relacionables con los restos antrópicos, algo totalmente imposible en un sedimento marino, una capa de hielo o una turbera.

El análisis estratigráfico permite medir un elevado conjunto de datos. En primer lugar, el análisis del nivel en cuestión y los procesos geológico-sedimentarios que lo conformaron. De éste se derivan consecuencias sobre las condiciones climáticas contemporáneas a la formación de un nivel. En principio cualquier variación climática general tendría su correlato en las características sedimentarias. En segundo lugar y a nivel cronológico, un estrato puede ser datado relativamente y por C^{14} en el caso de niveles würmienses. Algunos niveles más antiguos pueden serlo por el método del Potasio-Argón u otros sistemas que se están desarrollando en la actualidad. Los conjuntos culturales abandonados por el hombre también permiten un análisis cronológico, así como un estudio comparativo con otros conjuntos tanto a nivel cualitativo (los llamados "fósiles guía") como cuantitativo (BORDES 1953, LAPLACE 1961). Para el caso de

restos artísticos, es incluso posible una comparación de carácter estilístico. Los datos de tipo ambiental, a partir de restos bióticos, son muy amplios. Pueden realizarse análisis polínicos, antracológicos, ictiofauna, moluscos, anfibios, etc,... Las posibilidades para un estudio pluridisciplinar son mucho más amplias que las conseguidas por los métodos más modernos, como puedan ser los isótopos de oxígeno, K/Ar, etc..., e incluso por los análisis de pólenes y faunas en yacimientos no antrópicos.

La principal limitación es, como se iba ya adelantando, la discontinuidad de los niveles sedimentarios, limitación que, por otra parte es doble. Por una parte los yacimientos con secuencias largas son muy raros y, por otra, la misma "secuencia estratigráfica" es intrínsecamente discontinua. Los niveles han de estar bien diferenciados para que puedan ser utilizados correctamente. Ello implica que, de un nivel a otro, los cambios medioambientales o fueron rápidos, lo que alteró el proceso sedimentario de tal manera que resulte fácilmente apreciable, o bien existe un hiatus sedimentario (niveles estériles, costras estalagmíticas, erosión, etc...) difícil de calibrar cronológicamente, creando discontinuidades en las secuencias. El trabajo de múltiples sedimentólogos desde fines del siglo pasado se centró en resolver este tipo de cuestiones. El más importante llevado a cabo para Europa fue sin duda el de H. LAVILLE (tabla 2).



Tab. 2. Cronoestratigrafía de algunos yacimientos del suroeste francés durante los dos últimos interglaciales (a partir de LAVILLE *et al.* 1980, DENNELL 1983, en GAMBLE 1990, p. 102).

Este trabajo implicaba el análisis sedimentario de un conjunto de yacimientos en cuevas y abrigos del suroeste francés, con especial hincapié en la región de la Dordogne. Este área posee dos cualidades inmejorables: en primer lugar, una extraordinaria abundancia de yacimientos junto con el tamaño de los mismos, algo verdaderamente extraño en otras regiones europeas, lo que permitía trabajar con un elevado volumen de niveles y, por lo tanto, con un cierto grado de fiabilidad estadística. A esto se une el hecho de estar en un área pequeña, lo que hacía presuponer que las alteraciones ambientales contemporáneas a varios yacimientos quedarían reflejadas en todos ellos de manera similar. En segundo lugar, la enorme amplitud diacrónica que se iniciaba con yacimientos achelenses y musterienses a través de la secuencia tipológica de todo el Paleolítico superior hasta el Holoceno.

Metodológicamente, su trabajo partía de la propia concepción de los geólogos PENCK y BRUCKNER, que delimitaba las grandes glaciaciones a través del análisis de las terrazas y las morrenas de grava que se habían formado por la erosión glacial (gelifractos). Estas eran depositadas durante las grandes glaciaciones, siendo los períodos interglaciales, cálidos y húmedos, los causantes de una fuerte erosión hidráulica, culpable de la destrucción y enmascaramiento parcial de los depósitos glaciales. LAVILLE partía de los conceptos estratigráficos clave, es decir, la contemporaneidad de los restos de un estrato y del hecho de que los sedimentos en cueva poseían una gran cantidad de restos faunísticos óseos, ya sean como utillaje o como desperdicios, por estar menos alterados por las condiciones ambientales que los ubicados al aire libre (LAVILLE 1975).

Las secuencias de los diferentes yacimientos eran analizados a partir de las características de cada nivel (proporción de fracción gruesa y gelifractos sobre la matriz fina procedente de deposiciones eólicas y arrastres hídricos durante las fases frías, y discordancias erosivas o reactivaciones kársticas durante los interestadios húmedos). Las secuencias de cada yacimiento eran comparadas con otras, en principio, a partir de la cronología cultural relativa. Al conocerse esta secuencia cultural de una manera bastante clara bastaba con incardinar los niveles de dos yacimientos con culturas equivalentes y características sedimentarias similares. De esta forma todo el sistema aparecía como una secuencia de dos grandes fases frías (glaciales), Riss y Würm, separadas por un interglacial. Cada fase glacial se dividía, a su vez, en estadios fríos, caracterizados por la presencia de gelifractos y elevadas proporciones de materia gruesa (Riss I, II, III y Würm I, II, III, IV) y separadas por discordancias erosivas características de los interestadios cálidos y húmedos. Mientras, los estadios podían definirse en fases sucesivamente más frías o frescas y/o más secas o húmedas, dependiendo las primeras del tamaño, textura y abundancia de los fragmentos calizos gelivados, y las segundas del grado en que los cantos se ha redondeado o del carácter de la matriz sedimentológica.

El denominado método de LAVILLE dio como resultado una secuencia cronoestratigráfica y ambiental para todo el Paleolítico de Europa occidental y que ha sido utilizada como guía en áreas próximas. La secuencia del Cantábrico, realizada por M. HOYOS para Asturias durante el Pleistoceno superior (HOYOS 1979) y por este mismo autor para el Tardiglacial Cantábrico (HOYOS 1995), sigue de cerca el modelo de LAVILLE.

La secuencia cronoestratigráfica para el Würm, principalmente en sus fases más frías (Würm II en adelante), ha sido la base de los análisis cronológicos en Europa occidental, influyendo en otros muchos lugares como Centroeuropa, Europa del Este y zona mediterránea, donde la correlación con dicha secuencia siempre ha sido problemática. Los datos polínicos y faunísticos inferidos en dicha secuencia han seguido de manera general la cronoestratigrafía propuesta, intentando validar, y en algunos casos matizar, los patrones ambientales dictados por la sedimentología.

La metodología de LAVILLE y sus derivadas en el Cantábrico y otras áreas no han estado exentas de críticas. Estas procedían principalmente de la aparente asignación de los sedimentos a períodos fríos y secos y la ausencia de sedimentos debido a procesos erosivos durante períodos húmedos y cálidos (interestadios). Tanto FARRAND en el Perigord (FARRAND 1975), como BUTZER en el Cantábrico (BUTZER e ISAAC 1981), ponen en duda el que los períodos interestadiales fueran exclusivamente erosivos. Si esto fuese cierto sería difícil explicar los enormes depósitos postglaciales en los mismos yacimientos formados, evidentemente, en climas templado-húmedos. La discusión es en sí misma importante, puesto que de ser cierta la visión de estos investigadores los períodos erosivos simplemente no habrían existido, al menos no de la manera mecánica que LAVILLE utiliza como método de análisis. Esta discusión enlaza el problema de la correlación climática de cuevas y abrigos rocosos con la secuencia climática a nivel global. Para los investigadores anglosajones la continuación lógica de los análisis de los sedimentos, arqueológicamente fértiles, era su comparación con las secuencias globales.

"En la base de la datación absoluta, el detallado registro sedimentoclimático de los abrigos en el suroeste de Francia puede ser comparado directamente con otros tipos de registros climáticos representativos. El candidato más indicado para la comparación

es el registro polínico de Grande Pile, porque provenía de un área no muy alejada de la Dordogne y porque presenta un largo y continuo registro con un fuerte signo climático regional. El registro de Grande Pile ha sido, a su vez, correlacionado con el registro isotópico de oxígeno del fondo marino, lo que abre la puerta a la posibilidad de correlaciones globales", (FARRAND 1988, p310).

La secuencia polínica de dicha turbera fue estudiada por WOILLARD (1978, 1980) y datada a través del radiocarbono por WOILLARD y MOOK (1982). La principal característica de esta secuencia es su sorprendente correspondencia gráfica con las secuencias de O^{16}/O^{18} a nivel global (figura 4).

El último período interglacial (fig. 4,nº 5) era seguido, c. 70.000 BP, por un fuerte descenso de las temperaturas (fig. 4,nº 4), el Glacial inicial. Tras él un período de bajas temperaturas (fig. 4,nº 3), salpicado de breves episodios de ligero ascenso (fig. 4,nº 13, 14, 15 y 16) para posteriormente, fase (fig. 4,nº 2), dar comienzo al Pleniglacial hacia el 30.000 BP, alcanzando su máximo entorno al 18.000 BP. En su parte final, nº 18, se produce un rápido aumento de las temperaturas, el Tardiglacial, y tras un corto y poco intenso enfriamiento se iniciaba el Holoceno (fig. 4, nº 1).

Los períodos interglaciales se caracterizan en esta secuencia por la presencia de taxones termófilos. El polen de *Quercus, Fagus, Carpinus, Corylus,* etc..., forman la mayor parte del volumen de polen arbóreo. Este último es al mismo tiempo el polen predominante, prácticamente por encima del 80%. De la mis-

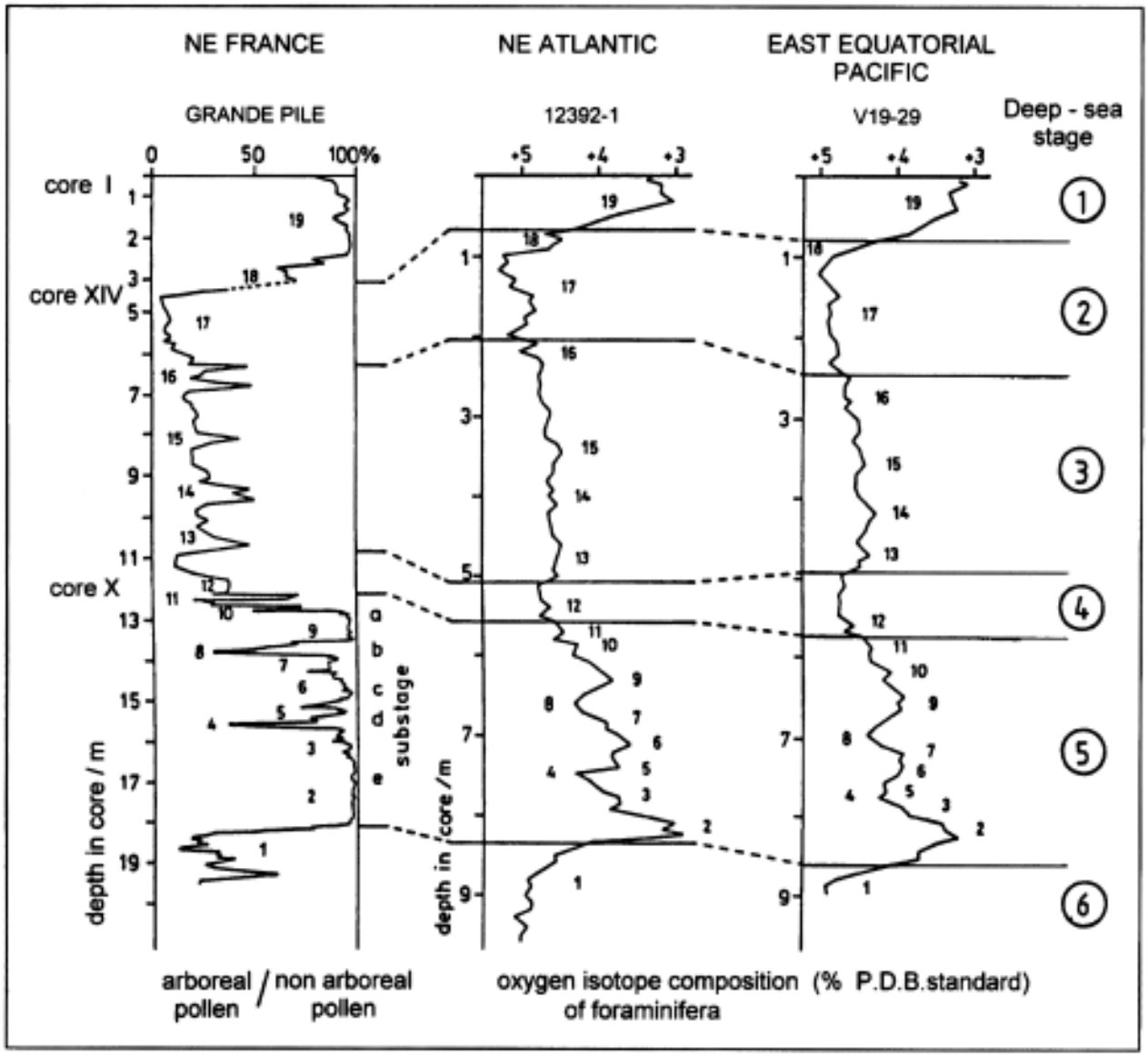


Fig. 4. Curva polínica de Grande Pile y secuencias de los isótopos de oxígeno de los fondos marinos (FARRAND 1988).

ma manera existían pequeñas proporciones de *Abies* y *Pinus.*

Los períodos glaciales tenían un registro totalmente diferente. Los pólenes pertenecían en su mayor parte a *Pinus,* con escasa representación de *Quercus, Corylus* y *Betula. Fagus, Abies* y *Carpinus,* así como otros taxones termófilos estaban virtualmente ausentes. El volumen de polen arbóreo variaba en la mayor parte del Glacial medio (fig.4,nº3), se mantenía entre el 20% y el 30%, aumentando de forma súbita (sin variación en los taxones representados) en picos de hasta un 50% ó 60%, en los sectores 13, 14, 15 y 16 de la secuencia. Durante el inicio del Glacial (fig. 4,nº 4) y el Pleniglacial (fig. 4,nº 2) las tasas de polen arbóreo permanecían por debajo del 20%, sin alcanzar en ocasiones el 10% del total. Para esta época, la palinología era ya una disciplina con experiencia y se habían realizado estudios de carácter experimental sobre la forma en que el registro polínico reflejaba la vegetación. En general, los palinólogos están conformes en considerar que una tasa de polen arbóreo superior al 60-75% implica una zona con cobertura forestal, mientras que una tasa inferior al 20-30% corresponde a un paisaje abierto. Los porcentajes intermedios entre estos márgenes son difíciles de interpretar. Los taxones presentes y sus porcentajes relativos son indicadores de los tipos de vegetación existentes en ese momento, lo que puede ser comprobado experimentalmente con el estudio de las lluvias polínicas actuales y la vegetación que las produce (REILLE 1990).

El análisis de las secuencias climáticas de Grande Pile indicaban la presencia de tres tipos de asociaciones básicas, a saber: una correspondiente a los interglaciales con un bosque caducifolio similar, a grandes rasgos, al actual; una serie de fases de distinta intensidad con un paisaje de estepa-tundra (estadios fríos); una sucesión de períodos cortos (fig.4,nº13, 14, 15, 16) con bosque boreal de coníferas. Esta interpretación daba lugar a una serie de problemas de correlación con la secuencia sedimentológica de LAVILLE. Las secuencias de LAVILLE presentaban, al compararlas con el espectro polínico, una serie de inconsistencias analizables en tres aspectos; el primero era puramente secuencial. Lo que LAVILLE denominó como interestadios debería corresponderse con los períodos de aumento de polen arbóreo, pero justamente donde él descubría tres interestadios la secuencia polínica mostraba cuatro (fig. 4, nº13, 14, 15 y 16); la segunda cuestión era de carácter cronológico. Las mediciones de C^{14} de los niveles sedimentarios no encajaban con los de la turbera (aquí el problema era, en buena medida, la complicada cronología ofrecida por la misma); finalmente, el tercer aspecto era de tipo conceptual. ¿Dónde se hallaba el límite entre estadio e interestadio?, y ¿el límite entre las diferentes fases frías/frescas, húmedas/secas, en que se dividían los cuatro estadios fríos del Glacial?.

En la cronología sedimentaria el segundo estadio Würm II-III estaba fechado c. 40.000 BP. En la secuencia polínica, el aumento de polen arbóreo (15) tenía una datación comparable. FARRAND partía de este interestadio para intentar una correlación entre la secuencia palinológica, la secuencia de LAVILLE y sus propios análisis en Abri Pataud (FARRAND 1975) y otros yacimientos (figura5).

El análisis descubría una correlación entre las fases III, V y VII del Würm III de LAVILLE, la sedimentología de los tres yacimientos estudiados por él y los tres picos de la curva correspondientes al ascenso de polen arbóreo que formaban el sector 16 de la secuencia de Grande Pile (Arcy, Kesselt y Tursac en la secuencia palinológica sedimentaria). Por desgracia, las fases VIIIb y IX no aparecían por ninguna parte y, lo que aún es más significativo, el interestadio Würm III-IV (Laugerie y Lascaux) reconocido por los palinólogos (LEROI-GOURHAN y RENAULT-MISKOVSKY 1977) no podían percibirse en el diagrama de Grande Pile (FARRAND 1975).

La correlación cronológica de las distintas oscilaciones es, sin lugar a dudas, problemática. La secuencia de LAVILLE está datada no sólo por correlación sedimentológica sino también por la cronología cultural y por múltiples dataciones absolutas. La combinación "cronología cultural - cronología absoluta - cronología sedimentológica" ha sido utilizada para áreas cercanas (Macizo Central, Cantábrico y Pirineos) y es, en esencia, similar. Las oscilaciones de la proporción de polen arbóreo en la parte central de la turbera de Grande Pile, 40.000-28.000 BP, presentan sin embargo gravísimos problemas. Evidentemente una turbera no puede analizarse a nivel de datación absoluta mas que a partir del C^{14}, sin una posible comparación con datos culturales o de otro tipo. En el período comprendido entre el 31.000-28.000 BP, las dataciones son muy confusas debido a las numerosas superposiciones e inversiones. En realidad, para períodos tan antiguos, incluso los estratos sedimentarios son peligrosos puesto que tanto el análisis estratigráfico como el palinológico, aun coincidiendo en sus caracteres, pueden proceder de alteraciones cronológicamente diferentes.

"El riesgo de confundir un interestadio con otro es particularmente grave al estudiar yacimientos geológicos", (LEROI-GOURHAN y RENAULT-MISKOVSKY 1979, p. 6).

El tercer problema (límite de estadio-interestadio) es sin embargo de un tenor diferente. En principio y según la concepción de LAVILLE, un interestadio es un período templado y muy húmedo en el que resalta su carácter erosivo. Las fases u oscilaciones dentro

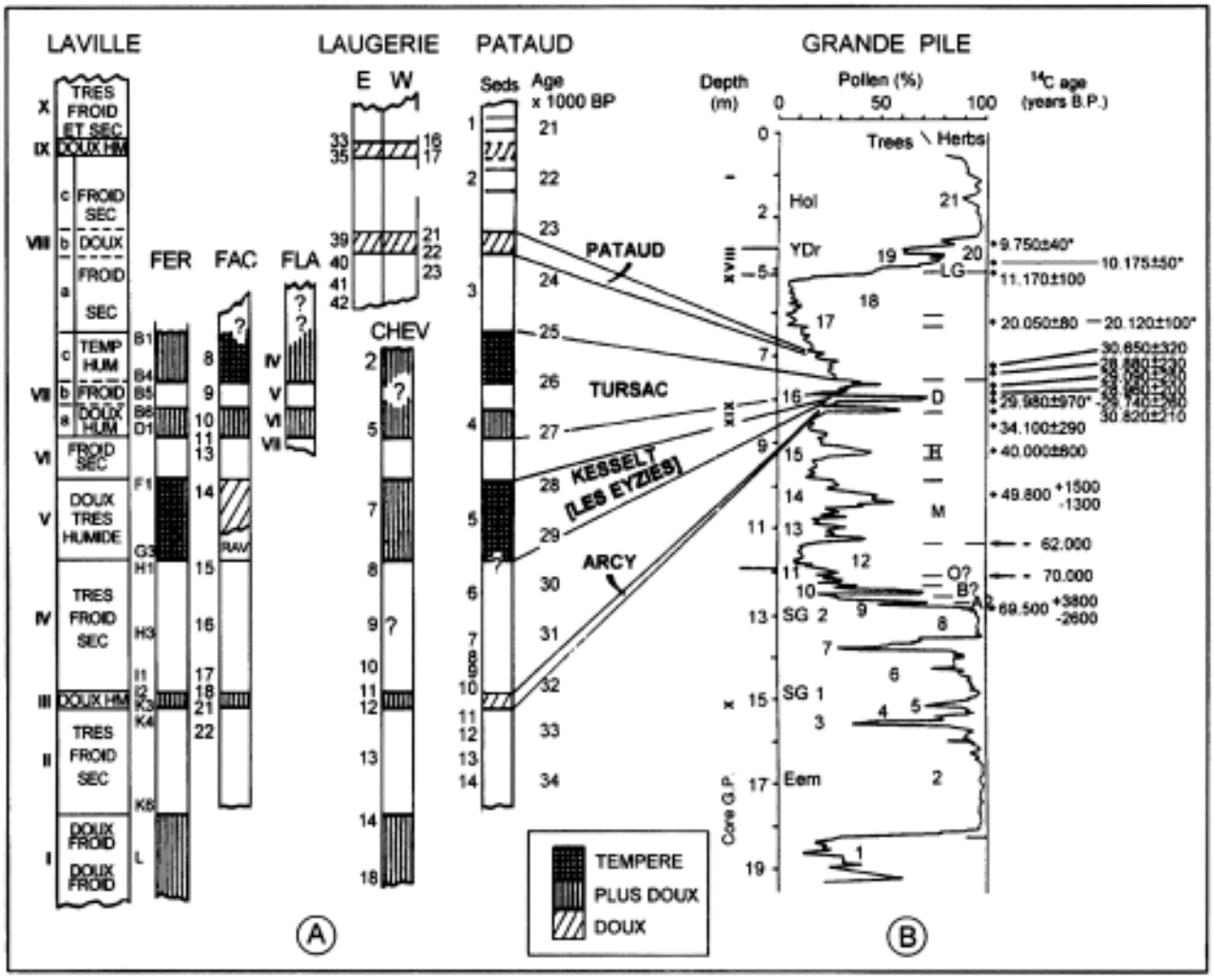


Fig. 5. Columnas estratigráficas de los yacimientos de La Ferrasie, Abri du Facteur, La Flageolet, Laugerie Haute (Este y Oeste), Grotte de la Chèvre y Abri Pataud y una parte de la secuencia climática de LAVILLE (A). Por otra parte, el diagrama de las variaciones polinicas y las dataciones por radiocarbono de la turbera de Grande Pile (Vosgos, Francia) (B), (LAVILLE 1975, WOILLARD y MOOK 1982, en FARRAND 1988, p.307).

de los estadios pueden ser alternativamente "frías-frescas, templadas y muy secas, secas, húmedas o muy húmedas", utilizando la terminología del mismo autor. Obviamente, las oscilaciones más cálidas y húmedas no deberían ser tan intensas como los interestadios.

En la correlación realizada por FARRAND, la fase III del estadio Würm III, fresca y húmeda para LAVILLE, correspondería a un pico de fuerte incremento de polen arbóreo (en torno a un 65%). La fase V, fresca y húmeda, correspondería a un pico aún más fuerte (ligeramente superior al 70%). Pero la triple oscilación de Tursac y fundamentalmente su fase VII_c, templada y húmeda, se corresponde en Grande Pile con un pico inferior a los anteriores (más o menos un 50% de p.a.), único no tripartito. Más grave sin embargo es el hecho de que el interestadio Würm II-III, como vimos mucho más intenso que cualquier oscilación templada de un estadial, corresponda en la secuencia polínica al sector 15, que apenas alcanza el 50% de p.a..

FARRAND concluye en su estudio, que la comparación de estos dos grupos de datos, secuencias sedimentarias (junto con sus análisis polínicos) y secuencias hemisféricas y globales (sedimentos marinos) o regionales (turberas), no parecen poseer una correlación posible ni en cuanto al número de oscilaciones ni a su duración e intensidad. FARRAND es un sedimentólogo que, como tal, está familiarizado con el método arqueológico. A la hora de explicar los diferentes resultados de los diversos métodos de análisis climático, anteriormente señalados, intenta encontrar alguna solución sin definirse de una manera clara. Para este autor existen una serie de alternativas. Una de ellas es la posibilidad de que los datos polínicos extraídos de los estratos pudiesen estar totalmente distorsionados por la actividad antrópica, lo que difícilmente sería útil para una representación de

la vegetación a una escala local. A nivel sedimentario, las distintas condiciones de los yacimientos enmascararían o sobredimensionarían los efectos analizables del cambio climático concreto. Por otra parte, las variaciones representadas por los sedimentos marinos indican variaciones durante períodos largos. Cada centímetro de sedimento nos aporta información sobre un período de 1000 años aproximadamente. Los estratos pueden indicar variaciones a corto plazo, ocultas en las secuencias globales. La mayoría de los prehistoriadores optan por la segunda posibilidad.

En un artículo publicado no hace mucho, C. GONZALEZ SAINZ expresa con claridad la postura de este grupo:

"Me interesa insistir en que la secuencia de fondos marinos a partir del oxígeno, por balance de las burbujas de aire en los hielos de Groenlandia, o desde luego, las mismas secuencias polínicas de referencia empleadas... no solo son, con toda probabilidad, válidas y aceptables, sino también esenciales para entender las grandes líneas del cambio ambiental. Pero no creo que deban entenderse como alternativas excluyentes de las secuencias climáticas de base sedimentaria o polínica obtenidas en yacimientos antrópicos, sino como marco de referencia, de valor más global, que permite matizar y entender con mayor profundidad las oscilaciones climáticas de detalle obtenidas a partir de pólenes, sedimentos y otros procedimientos sobre yacimientos en cueva, en muchos casos antrópicos. "..."Los diagramas de yacimientos paleolíticos funcionan a una escala frecuentemente más detallada (y por ello suelen ser aun más difíciles de situar cronológicamente que los no antrópicos a partir de la evidencia polínica misma; al tiempo es más fácil datarlas por radiocarbono y, además, tienen industrias)", (GONZALEZ SAINZ 1994, pp.59-60).

Esta afirmación coincide con la opinión de otros palinólogos, como LEROI-GOURHAN y RENAULT-MISCOVSKY (1979). Dichos especialistas junto a algunos otros, como BOYER-KLEIN o DUPRÉ iniciaron el estudio de los conjuntos vegetales que acompañaron al ser humano durante el período glacial. Para ello partieron del análisis directo de los pólenes de los niveles arqueológicos. La metodología de la recogida de las muestras no se diferenciaba, en lo esencial, de las aplicadas a otros conjuntos, pero en lo referente a su carácter secuencial y cronológico dependía del análisis estratigráfico. Para estos autores el análisis palinológico en yacimientos arqueológicamente fértiles poseía tres ventajas esenciales.

En primer lugar parecía obvio que siendo un nivel sedimentario un reflejo geológico del clima, y al ser el clima elemento determinante de la vegetación, ésta junto a su corolario polínico debían ser coherentes con la matriz sedimentaria en la que estaban inmersas, y siguiendo la regla de que todo material incluido en un estrato es contemporáneo a su formación (fenómenos como contaminaciones o percolaciones se consideraban poco importantes y, en todo caso, podían ser detectados). La segunda ventaja era, lógicamente, cronológica. Los estratos fértiles estaban fechados tanto de forma relativa como absoluta, además de la comparación tipológica.

"En los (estratos) *prehistóricos no sucede lo mismo* (respecto a los geológicos) *puesto que la tipología nos ofrece elementos de datación relativa imprescindibles que sirven para aumentar la precisión en el establecimiento de cada etapa",* (LEROI-GOURHAN y RENAULT-MISKOVSKY 1979, p.6).

La tercera característica es que los pólenes recogidos en cuevas y abrigos (por lo general en las primeras) tienden a reflejar la vegetación local. Esta tendencia ha sido progresivamente contestada por un conjunto de palinólogos, cuyos trabajos siguen más de cerca a las variaciones ambientales generales con vistas a las reconstrucciones climáticas y en menor medida a los conceptos de la arqueología prehistórica. Dos investigadores franceses, Beaulieu y Sac, llevaron a cabo una síntesis que trataba con profundidad las características de las grandes secuencias europeas con el estudio comparativo de las secuencias en turberas y lagos. Su finalidad era determinar no sólo las simples variaciones en el polen arbóreo o la presencia/ausencia de determinados taxones, sino la "estructura polínica" que acompañaba a los cambios climáticos.

Algunos conceptos propuestos en esta obra nos conciernen superficialmente. Los taxones presentes en las fases interglaciales más antiguas son más ricos en variedad que los actuales y la diversidad de especies se deteriora hacia las glaciaciones más modernas en Europa (esto no sucede con la misma intensidad en Extremo Oriente o Norteamérica). El análisis de las secuencias de variación y sustitución en los dos últimos ciclos glaciales inciden, sin embargo, directamente sobre la cuestión tratada aquí.

El último interglacial (Eemiense) se caracteriza por cuatro períodos dominados sucesivamente por el roble, el avellano con presencia de boj, el carpe y la picea. A partir del inicio del Würm antiguo (Würm I o pre-Würm) se suceden tres episodios. En el norte de Europa (norte de Alemania, Países Bajos y Escandinavia) tres interestadios, Amersfoort, Børup y Odderade, con coberturas vegetales más o menos abiertas de pinos, abedules y piceas, entre los que se intercalan dos estadios fríos con vegetación ártico-alpina. En el área centro-meridional los interestadios corresponden a una vegetación de carácter interglacial con robles, carpes, avellanos y piceas.

A partir del inicio del Pleniglacial Europa queda cubierta de paisajes desforestados. En el norte, un paisaje de tundra, en el área centro y sur, una estepa con algunos árboles y entre ambas, una zona de transición con vegetación en mosaico. El inicio del Pleniglacial se caracterizaba por un cierto mantenimiento de la humedad, salpicado por otros dos o tres interestadios poco marcados, con un discreto aumento de pino, abedul y picea. El Pleniglacial final, sin embargo, se caracterizaba por una reducción tanto de las temperaturas como, sobre todo, de la humedad. Alrededor del 20.000 BP se alcanza el máximo rigor climático. Europa es en gran parte un desierto, incluso en sentido edafológico (falta de suelos).

El período denominado Tardiglacial comenzaría c. 15.000 BP, con una recuperación de la vegetación herbácea y con la formación de suelos. Hacia el 13.000 BP el aumento de las temperaturas hizo que Europa estuviese cubierta por una landa de enebros, rápidamente sustituida por un bosque de pino y abedul, preludio del desarrollo de un bosque templado. Este proceso no llegó a completarse a causa de la aparición de un fuerte estadio frío que devolvió al continente su carácter ártico-estepario. El período, muy breve, será seguido por un rápido desarrollo del bosque templado (roble, arce, fresno, olmo), precedido por un súbito incremento del avellano en el centro y norte de Europa. Todo este proceso concluía hacia el 3.000 BP con el desarrollo de bosques de hayas, abetos y carpes, a los que siguió una clara distorsión de los registros polínicos a causa de la actividad antrópica.

El trabajo creaba un modelo de evolución en ciclos que ya había sido adelantado por el palinólogo danés IVERSEN. Este modelo, completado y perfeccionado por los trabajos de VAN DER HAMMEN, WIJMSTRA y ZAGWIJN, proponía el siguiente modelo evolutivo (BEAULIEU y SUC 1985) (figura 6). Es característico de este proceso el que los períodos intermedios de las fases progresivas tendían a ser más secos que los de las regresivas, debido a un aumento/descenso de las precipitaciones más lento que el de las temperaturas. Este modelo implicaba crear una guía que permitiese analizar cualquier registro palinológico, ya sea en su composición como en su cronología.

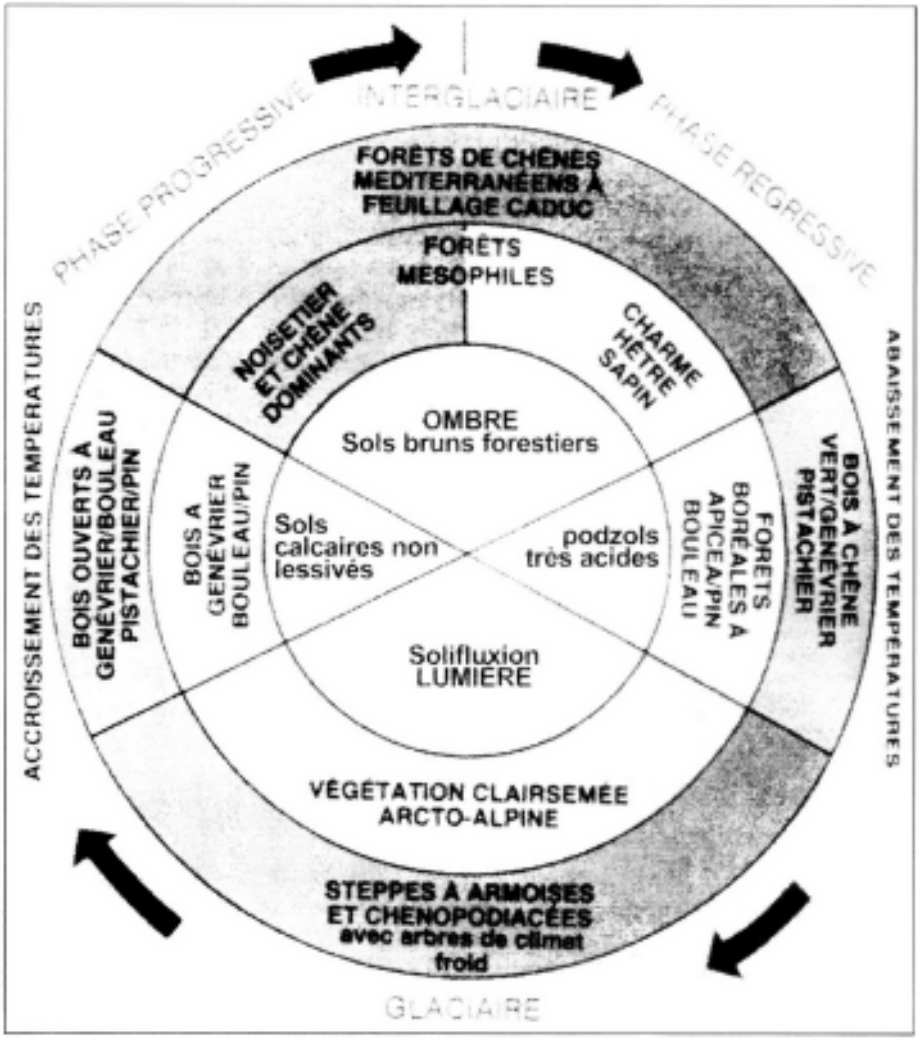


Fig. 6. *"Circulo bioclimático esquemático".* Representación simple de las sucesiones de la vegetación que interviene en las latitudes medias durante los ciclos glaciales e interglaciales (según T. VAN DER HAMMEN, T.A. WIJMSTRA, W.H. ZAGWUIJN, en BEAULIEU 1985, p. 72).

Durante los últimos años, algunos palinólogos han cuestionado, a partir de los argumentos señalados, la validez de los estudios polínicos realizados a partir de los métodos arqueológicos. Para un especialista de la disciplina es difícil aceptar que las secuencias polínicas queden supeditadas al análisis del sedimentólogo o del tipólogo prehistoriador. La siguiente cita de M.F. SANCHEZ GOÑI es característica de esta actitud:

"...la atribución cronológica de espectros polínicos basada en los resultados de otros estudios lleva a una situación paradójica: cuál es el interés del análisis palinológico si los espectros son atribuidos en base a las industrias, las dataciones, la estratigrafía...? Por consiguiente, la interpretación ecológica y la atribución cronológica de los resultados palinológicos deben preceder la comparación de estos mismos resultados con las hipótesis propuestas por las otras disciplinas", (SANCHEZ GOÑI 1993_b, p. 120).

Los palinólogos consideran que toda secuencia local debe ser comparada con la general. Para que una secuencia pueda ser considerada como un interestadio debería poseer una serie de características. Además de los ya señalados porcentajes de polen arbóreo, debe existir un número mínimo de pólenes analizables, sin el cual el conjunto no sería representativo. Así mismo, debe tener una coherencia desde el punto de vista ecológico, no pudiéndose producir asociaciones de determinados taxones que ni en las asociaciones actuales ni en las de referencia aparecen como tales.

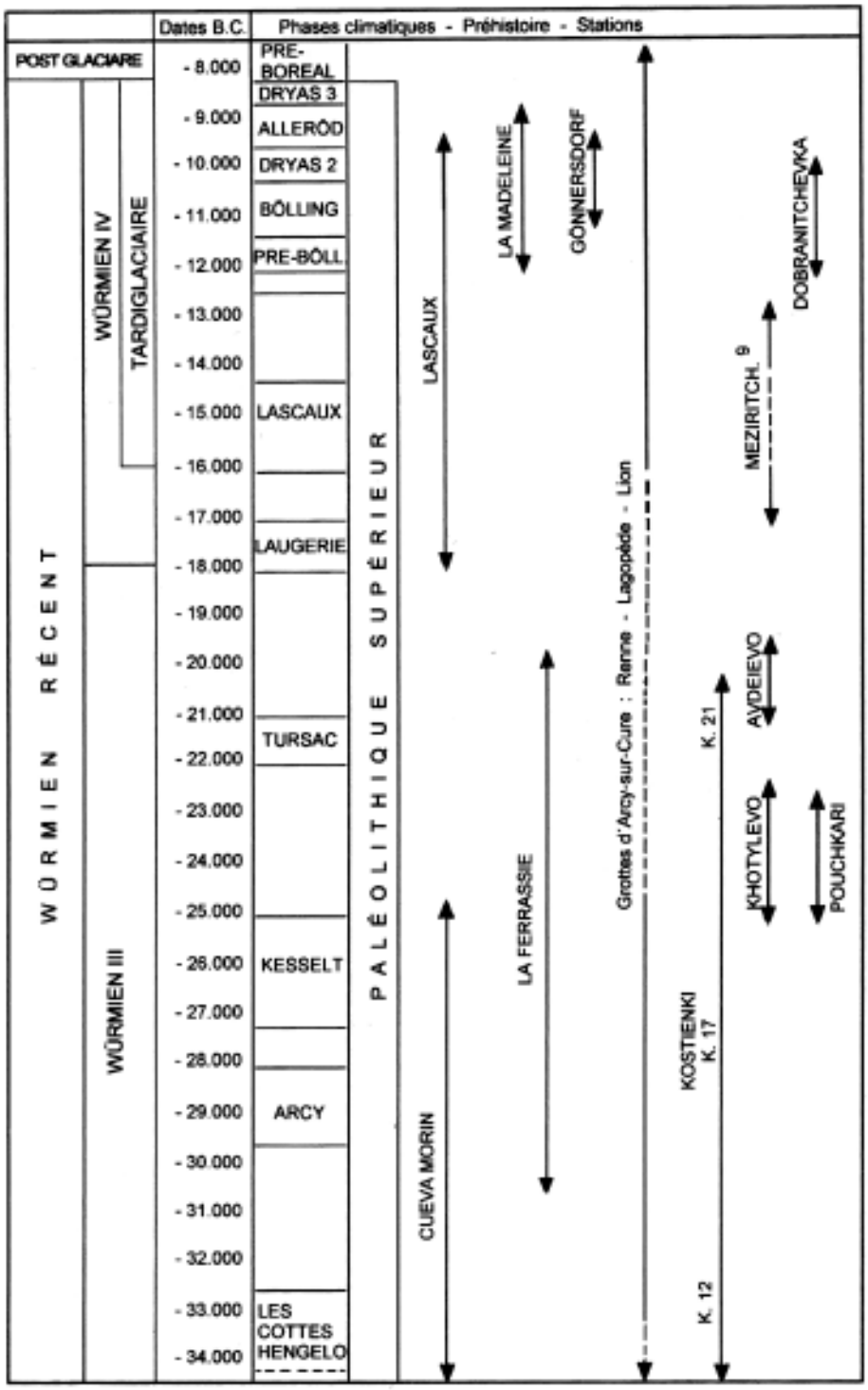
La secuencia de cambio en la vegetación debe seguir la sucesión marcada en las secuencias de referencia o, al menos si los niveles son discontinuos, ser coherente con una parte de dichas secuencias. Como ejemplo se podrían analizar las conclusiones de los palinólogos TURNER y HANNON en cuanto a los interestadiales de Arcy y Tursac (SANCHEZ GOÑI 1993,). El primero fue identificado por LEROI-GOURHAN (1964) sobre tres espectros polínicos en la Grotte du Renne, fechados en torno al 30.370 BP. La secuencia se caracteriza por un súbito ascenso del polen arbóreo, de un 3%, compuesto exclusivamente por *Pinus,* hasta un 18%, compuesto por un 10% de *Pinus,* 5% de Fraxinus y en porcentajes más reducidos *Quercus, Corylus, Tilia* y *Carpinus.* Este ascenso se correspondía aproximadamente con la oscilación nº 9 del Würm III de LAVILLE. En el de Tursac, también identificado por LEROI-GOURHAN (1968) en Abri du Facteur, de igual manera se produce un incremento del polen arbóreo, de un 2% hasta un 8%, con la aparición en el pico alto de pólenes de *Betula, Alnus, Salix, Corylus* y *Quercus,* aun siendo dominante *Pinus* con un 5%.

Los autores anglosajones mostraron en estas secuencias tres contradicciones. En primer lugar, los pólenes arbóreos no superaban el 20%, lo que en la definición polínica implica un paisaje abierto y con un clima frío y seco (estadial). Por otra parte la aparición de determinados taxones, sobre todo *Fraxinus,* era totalmente incoherente con su inexistencia en las secuencias de referencia y ello sólo podía ser debido a una percolación. En tercer lugar, la variación en la tasa de polen arbóreo, así como la aparición de taxones termófilos, era súbita y no de manera secuencial *(Juniperus, Betula, Quercus).* TURNER y HANNON acaban concluyendo que las variaciones observadas no permitían sostener la existencia de dichos interestadios (SANCHEZ GOÑI 1993_a).

5. El tardiglacial würmiense. Cronoestratigrafía y secuenciapolínica.

Las contradicciones en la interpretación de las variaciones climáticas y su correlación durante el Würm inicial y medio se centran en los problemas tanto cronológicos, diferentes según la metodología implicada, como en la intensidad de dichas variaciones. En principio, pocos autores niegan la existencia de variaciones mensurables durante estos períodos. TURNER y HANNON no niegan categóricamente la existencia de Arcy, Kesselt o Tursac sino el hecho de que se hayan identificado en los yacimientos en cueva o abrigo (SANCHEZ GOÑI 1993_a). FARRAND (1988) sostiene su correlación con las variaciones de la secuencia de Grande Pile, a pesar de tas contradicciones de la cronología absoluta. Sin embargo, con posterioridad al c.32.000 BP, dichas secuencias no muestran un ascenso del polen arbóreo hasta el 13.000 BP. Las dudas sobre las alteraciones climáticas para el máximo Glacial y el Tardiglacial no eran, por lo tanto, de correlación sino más bien de base.

La secuencia polínica derivada de yacimientos prehistóricos (tabla 3) conllevaba la existencia de cinco períodos fríos, denominados comúnmente Dryas, y seis oscilaciones más cálidas y/o húmedas, denominadas interestadios por los palinólogos (LEROI-GOURHAN 1989). Esta secuencia parecía coincidir a grandes rasgos con las nueve fases determinadas por LAVILLE. En la secuencia de referencia, como ya vimos, no aparece ningún interestadio hasta el 13.000 BP. Los interestadios de Laugerie, Lascaux, Angles y el pre-Bölling no estaban marcados. El comienzo de Bölling se iniciaba en la secuencia de referencia con un aumento del polen de enebro. No existía ningún retroceso de temperaturas y humedad remarcable con posterioridad (Dryas II) y la tasa de polen arbóreo continuaba ascendiendo ininterrumpidamente con el predominio de *Betula-Pinus,* hasta alcanzar su máximo entre el 11.170 BP y 10.175 BP y, tras caer bruscamente, remontar hasta unos índices polínicos semejantes a los actuales. Las tesis soste-



Tab. 3. Situación de algunos yacimientos prehistóricos en la estratigrafía del Würm reciente (RENAULT-MISKOVSKY 1986).

nidas por estos autores parten de la negación de que en el inicio del Tardiglacial los interestadios de Laugerie y Lascaux hayan sido localizados. Para Laugerie, identificado por LEROI-GOURHAN en Abri Fritsh (Indre), TURNER y HANNON dan cuenta de la imposibilidad de sostener la existencia de un interestadio cuando el nivel de polen arbóreo nunca sobrepasa del 20% y las especies caducifolias, excepto *Corylus* que alcanza el 5% en un único nivel, son esporádicas (sólo se presentan por debajo de un 1%). El caso de la cueva de Lascaux es diferente. En los niveles 20-21 se alcanza un 60% de polen arbóreo, siendo superior el porcentaje de *Corylus* al de *Pinus.* A esto se le ha objetado las dificultades en la correlación sedimentaria. Las muestras fueron tomadas en dos lugares diferentes y las correlaciones son proble-

máticas. Las muestras de los niveles 20-21 poseen menos de 100 pólenes, lo que dificulta su validez estadística. Sin embargo, la razón esencial es el carácter único de la secuencia de Lascaux. Ni la secuencia de referencia ni el perfil polínico de otras cavernas o abrigos permiten hablar de variaciones climáticas importantes entre el 17.000 BP y el 16.000 BP. Los autores concluyen de la siguiente manera:

"Así mismo son rechazados los supuestos interestadios Laugerie y Lascaux de Paquereau (1978) y LEROI-GOURHAN *(1980$_a$ y $_b$); LEROI-GOURHAN & GIRARD (1979), no sólo porque están en total discordancia con otras reconstrucciones paleoclimáticas para este intervalo, sino principalmente porque, como se ha tratado con anterioridad, la evidencia palinológica en la que cada uno de ellos se basó parece ser errónea desde varias líneas claras",* (TURNER y HANNON 1988, citado por SANCHEZ GOÑI 1993$_a$, p. 150)

Los mismos argumentos son utilizados por SANCHEZ GOÑI para rechazar el interestadio de Angles-sur-l'Anglin (Vienne) (SANCHEZ GOÑI 1993$_a$). El interestadio pre-Bölling no lo sería por las mismas razones que para Laugerie, el aumento de la tasa de polen arbóreo no es significativo. En definitiva, las secuencias de los pólenes en abrigos y cuevas presentan siempre estos dos problemas en el intento de validar los interestadios. O bien el incremento de polen no es significativo o, cuando lo es, el lugar en el que se produce es único.

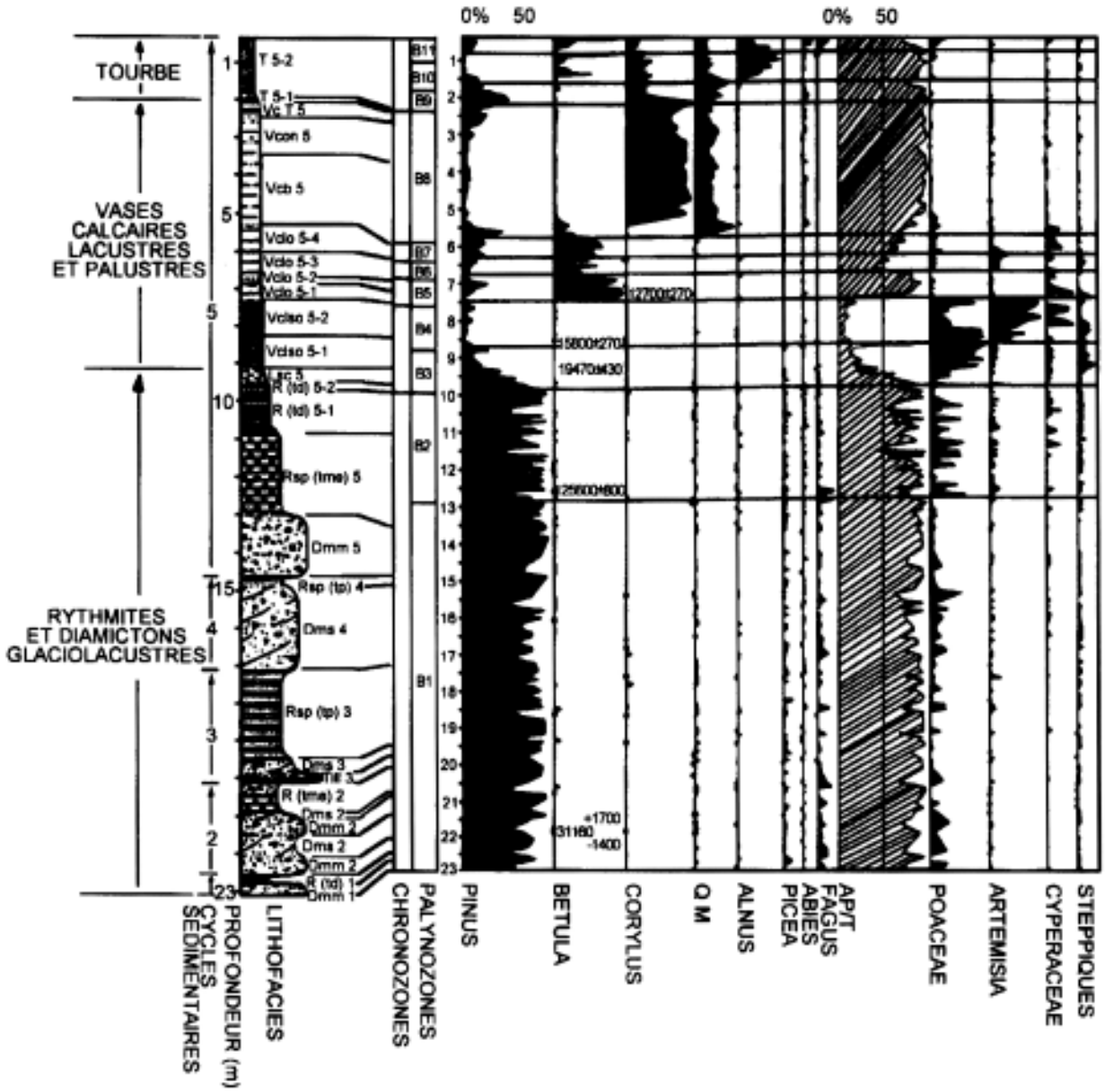


Fig 7 Secuencia polínica de la serie glaciolacustre de Barbazan (JALUT 1992).

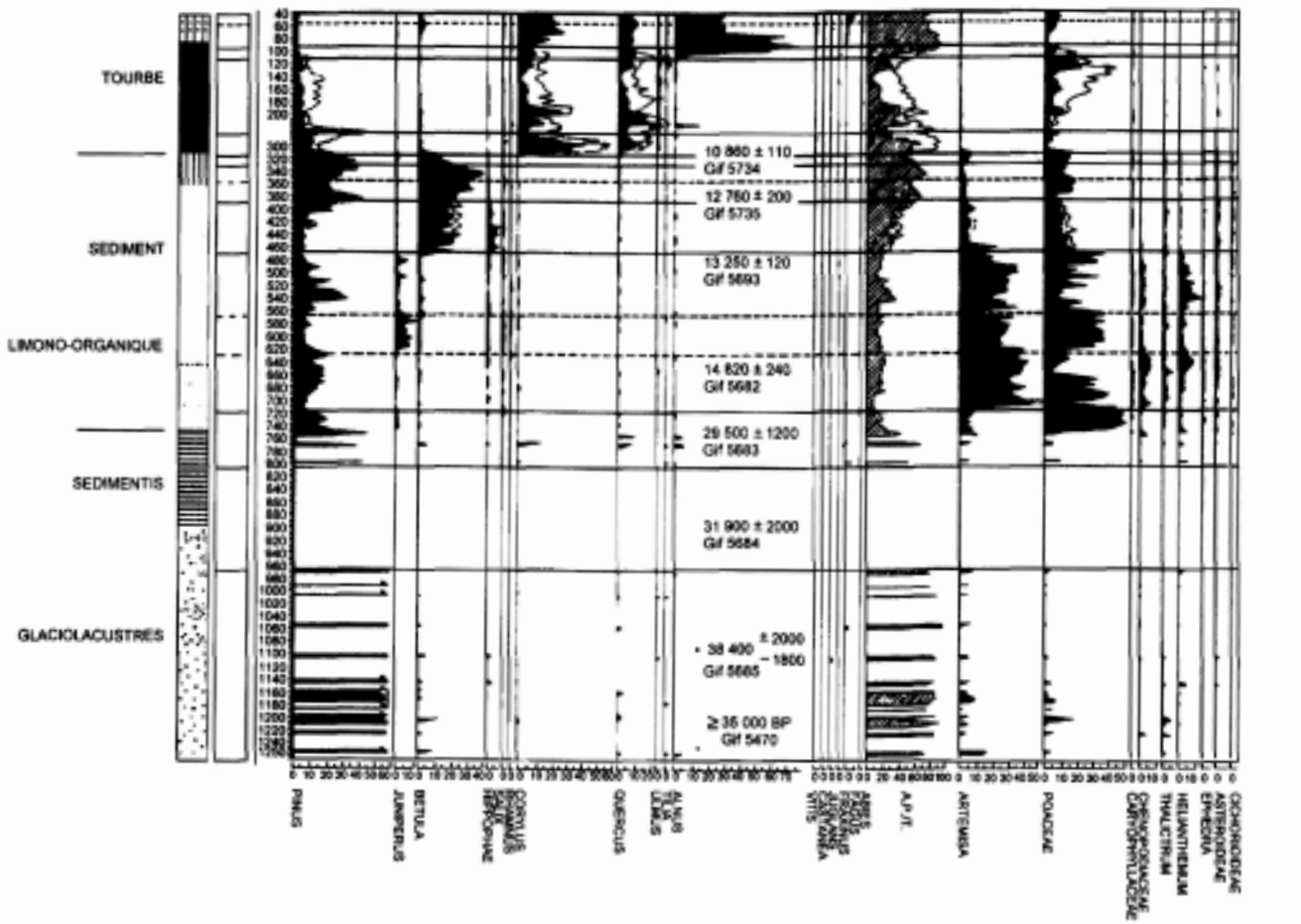


Fig. 8. Secuencia polínica de la serie glaciolacustre de Biscaye (JALUT 1992).

La secuencia de referencia de Grande Pile o Les Echets podrían, evidentemente, haber sido sobrevaloradas por los palinólogos, sin embargo estos creen poseer buenas razones para caminar con seguridad. Recientemente, una serie de lagos del Pirineo, Cordillera Ibérica y Montes Vascos han sido estudiados por los palinólogos. El resultado de las investigaciones es bastante concluyente. Los lagos de Barbazan (figura 7), Biscaye (figura 8), Estarres, Freychinède, la Borde, etc... (JALUT 1992; JALUT *et al.* 1992), los cantábricos de Quintanar de la Sierra (figura 9), Arreo y Saldropo (figura 10) (PEÑALBA 1992), contienen secuencias polínicas y, aun cuando varían en detalles y sin cubrir todas la secuencia completa del Tardiglacial, son sorprendentemente similares en esencia. La secuencia básica es idéntica a la de Grande Pile y Les Echets: inexistencia de ningún aumento significativo (>30%) de polen arbóreo durante el período que cubre el 18.000 y el 13.000 BP, y presencia durante ese mismo período de altas tasas de estépicas (artemisas y chenophoideas). El aumento de las tasas entre el 13.000 y 11.000 BP presenta la sucesión *Juniperus-Betula-Pinus,* tras el cual continúa un corto período de desforestación y una recuperación que sigue la secuencia entre el 9.000-3.500 BP, con *Pinus, Corylus, Quercus* - bosque templado - bosque templado con *Fagus.*

A partir de este, relativamente bien trabajado conjunto de datos, SANCHEZ GOÑI realizó una secuencia de sucesión de la vegetación en Pirineos y Región Cantábrica (tabla 4).

Por otra parte, en el Cantábrico, SANCHEZ GOÑI ha reinterpretado las secuencias de una serie de yacimientos a los que ha añadido su propio estudio sobre las cuevas vascas de Lezetxiki, Labeko Koba y Urtiaga. Sus conclusiones tienen dos vertientes, una de tipo cronológico-cultural, que no nos interesa aquí de manera inmediata y que ya ha sido contestada ampliamente por GONZALEZ SAINZ (1994), pero su idea de las variaciones ambientales, coincidentes con las de JALUT, son bastante claras (tabla 5).

Si hiciésemos una síntesis de lo dicho respecto a las variaciones climáticas, aplicado al Tardiglacial, podríamos desglosar dos grandes concepciones. Por

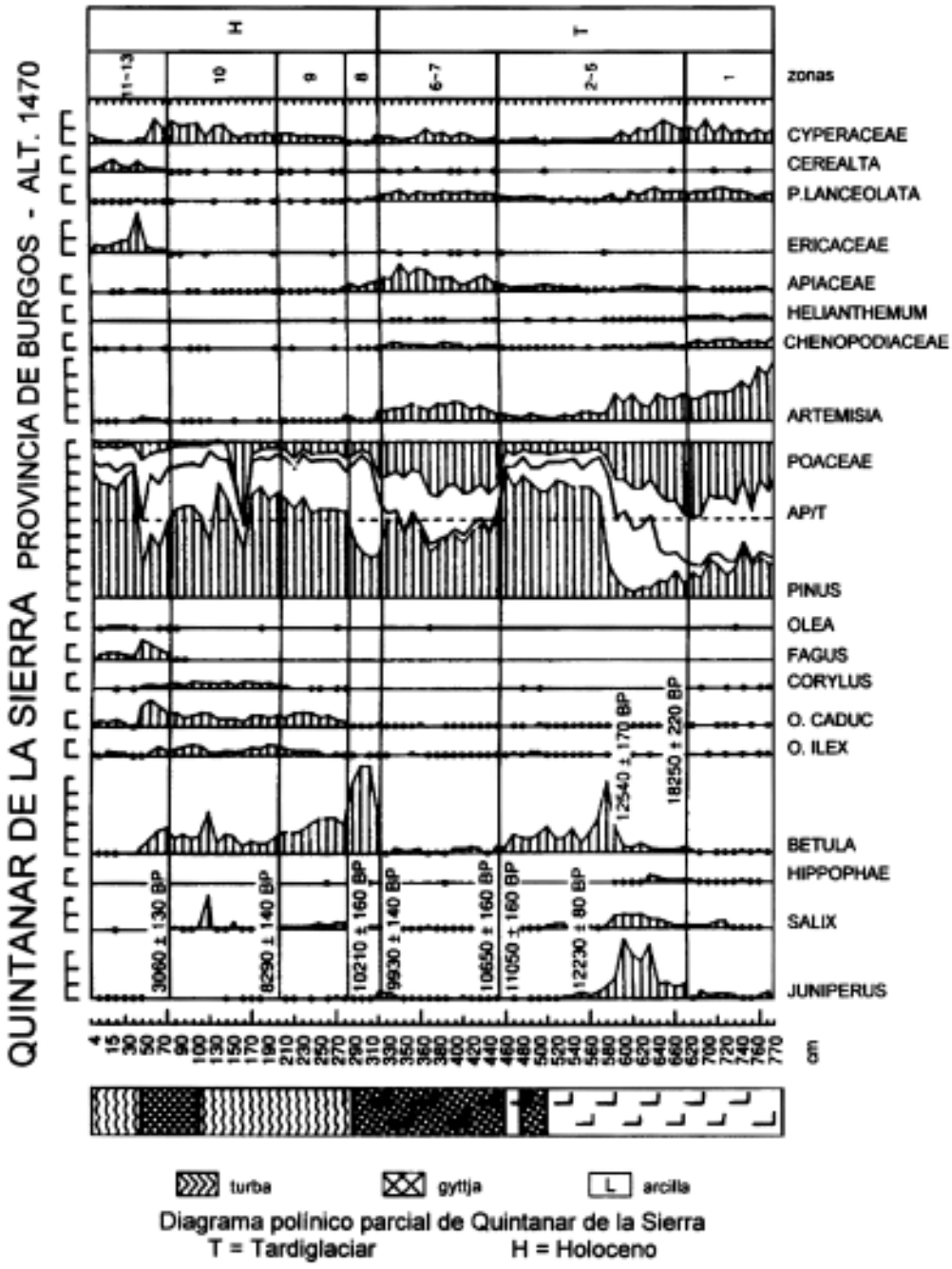
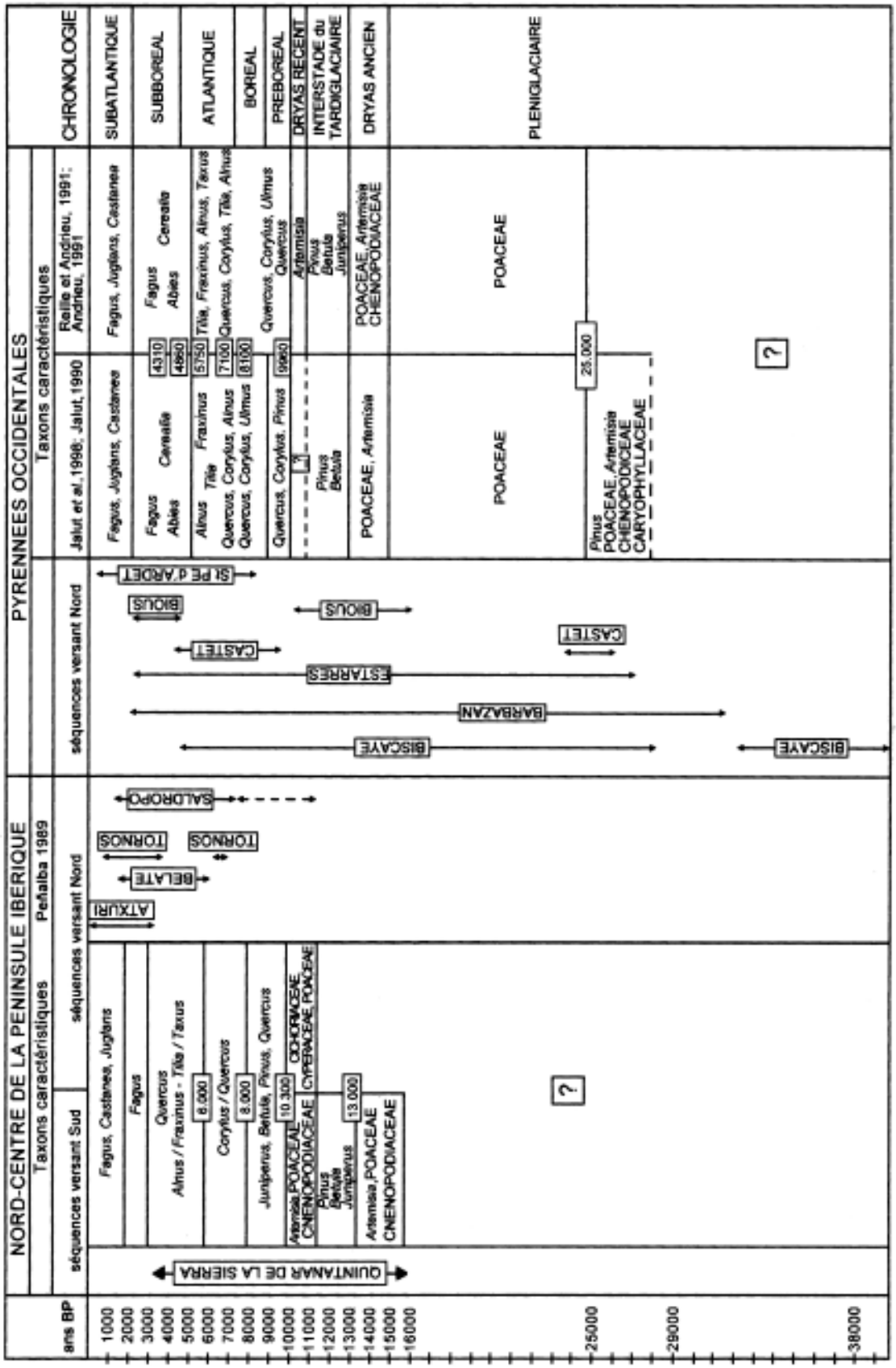


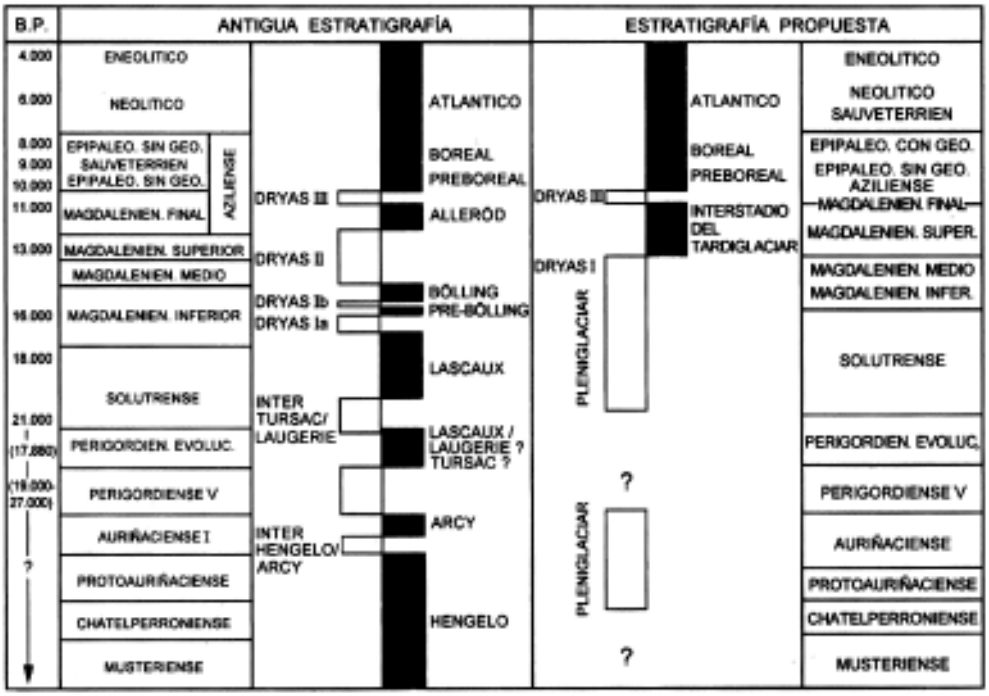
Fig. 9. Secuencia polínica de Quintanar de la Sierra (PEÑALBA 1992).

un lado, los análisis de origen estratigráfico y, por otro, los que basan sus estudios en las secuencias globales. Para los primeros, cada estrato es un indicador, por lo tanto un nivel que posea indicios claros de aumento de la temperatura y de la humedad respecto al anterior, corroborado por la palinología (incremento de polen arbóreo y aparición de taxones termófilos), por la fauna (incremento de especies de climas templados o descenso de las de clima frío), o cualquiera de las otras técnicas de análisis. Todo ello será suficiente para hablar de un interestadio.

Respecto a los segundos, sólo una variación cualitativa sería suficiente. Una vez determinada esta (variación de la cobertura vegetal) la delimitación en las secuencias de referencia de la sucesión de estos cambios sirve como guía básica. Sólo si la muestra encaja, con un elevado grado de similitud, con una parte de la secuencia principal que indica una variación interestadial, se podrá considerar este período como tal en la muestra local. Evidentemente esto implica una diferente concepción de lo que "significa" interestadio o estadio. Una delimitación conceptual se hace totalmente necesaria.



Tab. 4. Secuencias polínicas de referencia para el Pleniglacial reciente, Tardiglacial y Holoceno del centro y norte de la Península Ibérica y Pirineos occidentales (SANCHEZ-GOÑI 1993a).



Tab. 5. Correspondencias entre la interpretación estratigráfica antigua y la nueva propuesta de base palinológica para yacimientos cantábricos (SANCHEZ GOÑI 1993b).

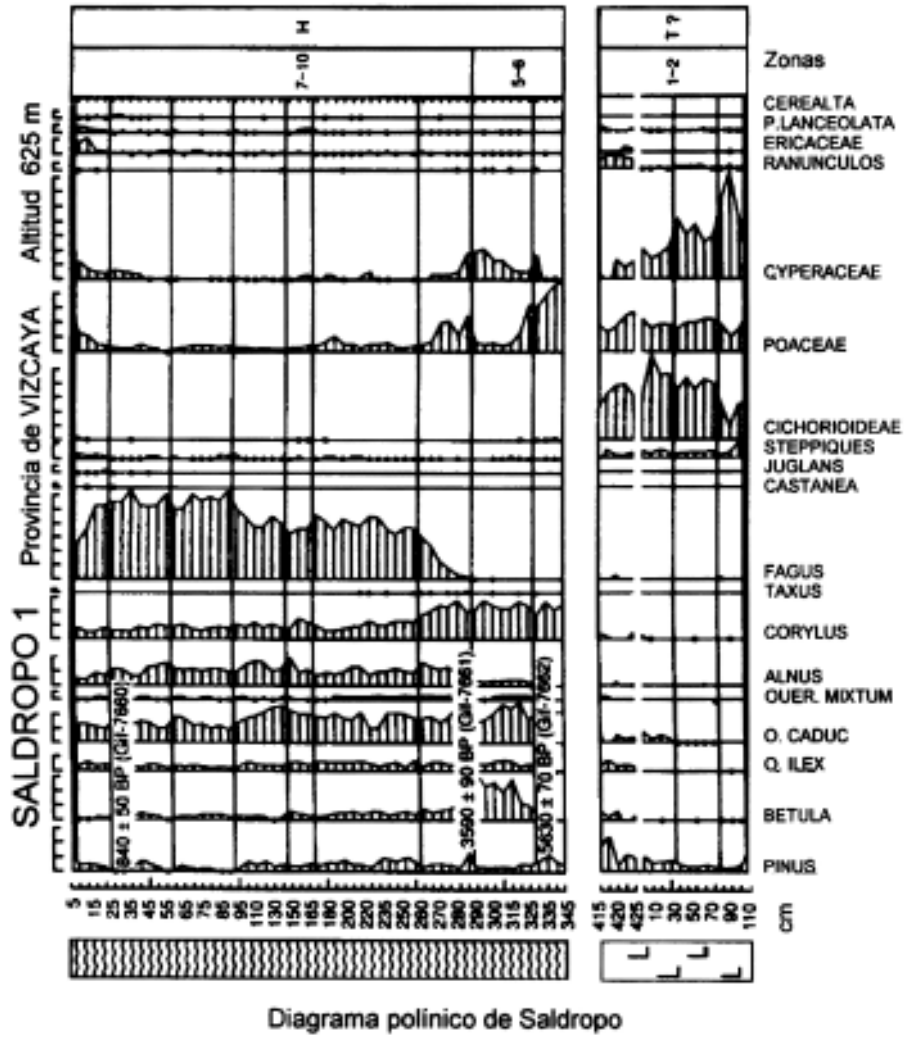


Diagrama polínico de Saldropo

Fig. 10. Secuencia polínica de Saldropo (PEÑALBA 1992).

6. El concepto de estadio e interestadio. Origen y consecuencias.

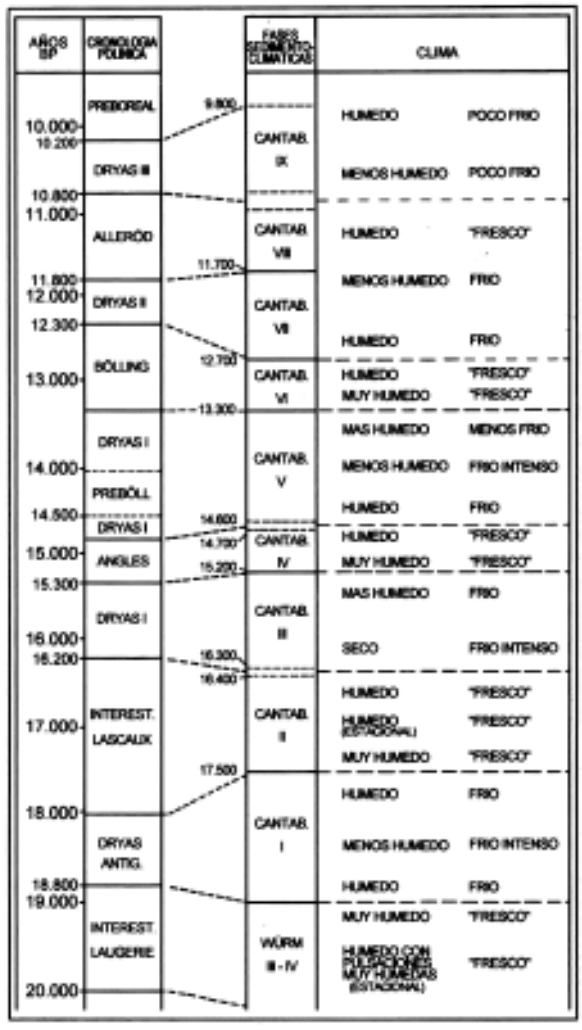
En principio, la división climática de las fases glacial e interglacial aparecía clara. Las dos cubrían amplios espacios de tiempo (miles o decenas de miles de años). Los interglaciales eran de carácter templado, similar al actual. Mientras que los glaciales eran períodos intensamente fríos. Estos últimos se ligaban a ciertos fenómenos geológicos, como la gelivación, perfectamente constatables en los sedimentos de cuevas y abrigos. Los interestadios representarían períodos más cortos dentro de los ciclos glaciales, en los que los fenómenos de gelivación eran sustituidos por reactivaciones kársticas o fenómenos erosivos. La acción del hielo, para los estadios, y la del agua, para los interestadios, marcaban los tiempos estadios-interestadios.

LAVILLE constató, como ya vimos, que durante los períodos fríos (estadiales) podían diferenciarse niveles en los que la intensidad del fenómeno crioclástico variaba. La relación entre la materia gruesa, gelifractos, y la matriz fina en la que estaban insertos podía diferenciarse. Así mismo, los gelifractos podían mantenerse intactos (con bordes aguzados en piezas de gran tamaño), o bien ser afectados por la humedad (redondeando sus formas). La diferencia entre los niveles podía deberse a la distinta acción de las temperaturas o al diferente grado de humedad circundante. Estas variaciones eran denominadas por H. LAVILLE fases u oscilaciones. Otros autores pasan a denominarlas indistintamente fases, episodios e interestadios (HOYOS 1995). Precisamente M. HOYOS ha intentado "conceptualizar" el término de interestadio.

"Por nuestra parte... pusimos de manifiesto para Asturias y extensible sólo para el área cantábrica (entre 0m. y 500m. de altitud, por las características físicas mencionadas), que no sólo en el interestadio Würm III-IV no se alcanzaban las condiciones templadas actuales sino que tampoco ocurría en el resto de los denominados interestadios de la cronología polínica del Tardiglacial. Dichos interestadios representan etapas en las que se producía una mejoría en la temperatura, más o menos acusada según qué interestadio, pero en las que no desaparecían totalmente las manifestaciones frías de las heladas. Por ello a dichas fases interestadiales se les aplicó el calificativo de "frescas" con sus matizaciones, para distinguirlas de las condiciones actuales en las que dichos fenómenos meteorológicos no se producen, o son tan esporádicos que no dan lugar al desprendimiento apreciable de crioclastos ni otras manifestaciones sedimentarias relacionadas con la acción del hielo. En resumen y para el Cantábrico, son fases climáticas dentro del Tardiglacial en las que las heladas y por tanto los procesos ligados a la gelivación están presentes aunque de forma más moderada que en que en las fases estadiales", (HOYOS 1995, p. 17).

Aquí el autor parece referirse a los interestadios tal como los define LAVILLE, con diferenciación de las, llamadas por éste, fases u oscilaciones.

En el cuadro de variaciones climáticas (tabla 6) se denomina interestadio de Laugerie en la secuencia polinico-sedimentológica al correlato cronoestratigráfico Würm III-IV. En este mismo cuadro, sin embargo, se denomina también interestadio a Lascaux, que corresponde a la fase Cantábrico II (estadio Würm IV, fase II de la secuencia de LAVILLE). En el texto, y por dos veces, HOYOS vuelve a denominar interestadio tanto a Alleröd (Cantábrico VIII) como a Bölling (Cantábrico VI). Esta falta de precisión terminológica crea confusión. En principio, el interestadio que da entrada al último estadio glacial es Würm III-IV, pero HOYOS denomina así y alternativamente "fases" o "episodios" a toda alteración con rasgos de ser más cálida o húmeda que su infrayacente y su suprayacente.



Tab. 6. Cuadro que muestra las variaciones climáticas desde la cronología polínica y su correlación con las fases sedimento-climáticas (HOYOS 1995).

Por otra parte, el párrafo citado indica que las condiciones interestadiales serían "frescas" por contraposición a "frías" (estadiales) y "templadas" (interglaciales). El término es evidentemente muy impreciso y el propio autor nos recuerda:

"Es necesario señalar finalmente las limitaciones de la sedimentología, que aunque permite detectar procesos y asociarlos a un tipo de clima, es siempre un método cualitativo con una cuantificación relativa por comparación estimativa de la intensidad de los procesos de unos niveles a otros", (HOYOS 1995, p. 18).

Los palinólogos que siguen los ciclos globales sólo aceptan una variación estadial que implique una variación total del paisaje vegetal o del ecosistema (bosque templado = interglacial; bosque boreal (taiga) = interestadio; estepa-tundra = estadio). Ante esta situación, caben cuatro posibilidades:

- La sedimentología nos ofrece una imagen más detallada de la realidad, tanto en el tiempo como en el espacio y, por lo tanto, nos permite un conocimiento más preciso que el de las secuencias generales.

- En segundo lugar, las secuencias generales son muy precisas, quedando demostrado por la homogeneidad que existe entre ellas (cuestión no negada por los arqueólogos), y además marcan el carácter global del clima y de la vegetación (tampoco negado por los sedimentólogos). Por el contrario, los sedimentos en cueva nos ofrecen una visión fragmentaria, falseada a causa de acciones tanto antrópicas como naturales (percolación, inundación, pisoteo, remociones, etc,...) y muy heterogénea, de tal manera que para poder localizar niveles que reflejen el ambiente prehistórico deben previamente ser comparados con las secuencias generales.

- Las secuencias climáticas sedimentarias nos dan una imagen muy precisa temporal y espacial del entorno y que además pueden correlacionarse perfectamente y sin incoherencias con las secuencias generales. Pero la necesidad de datar con precisión las diferentes culturas arqueológicas por parte de los prehistoriadores ha distorsionado por completo el análisis de las mismas. Esta grave acusación merece ser contemplada con detenimiento. M.F. SANCHEZ GOÑI, a propósito de ello cita textualmente:

"Es imposible intentar situar los diferentes periodos cronológicos de las industrias del Paleolítico superior francés si se incluyen en periodos largos de 10.000 años; por el contrario, hay que intentar subdividirlo en periodos cortos, de unos milenios, a pesar de las dificultades y de los márgenes de error del C-14. El objetivo principal del análisis polínico de una estación paleolítica es el establecimiento de una secuencia climática que permita situar con precisión las diferentes industrias sobre una escala cronológica", (LEROI-GOURHAN 1968, en SANCHEZ GOÑI 1993a, p. 143).

Evidentemente nadie puede negar, y los ejemplos históricos son abundantes, que en ciencia quien busca algo con ahínco puede terminar encontrándolo a pesar de que sea inexistente.

- Una última posibilidad que parece no haber sido tenida en cuenta por los investigadores y en la que los paradigmas de base de ambas escuelas son diferentes: unos utilizan la física atómica O^{16}/O^{18} para correlacionar secuencias políticas en turberas o lagos. Los otros se basan en la geología como paradigma para analizar los sedimentos y todo lo que contienen.

Los objetivos principales de estas escuelas son diferentes. Los primeros intentan una reconstrucción paleoambiental, una reconstrucción de los ecosistemas y su evolución a lo largo del tiempo. Los segundos pretenden la reconstrucción de las culturas prehistóricas y su devenir histórico y, por lo tanto, cronológico. La pregunta que nosotros nos planteamos es la siguiente: ¿están analizando estas escuelas las mismas cuestiones?, o bien sin ser aún conscientes de ello ¿el "objeto" de su análisis es diferente aunque terminológicamente se le denomine de la misma manera?.

A esta última posibilidad, que en principio no excluye a las anteriores o al menos no totalmente, debe añadírsele una última reflexión: ¿poseen estas escuelas una metodología que les permita llevar a cabo una inferencia deductiva a nivel cuantitativo del objeto u objetos de su análisis, a partir de los datos que manejan?.

Para intentar llegar a una conclusión sobre estas dos cuestiones, quisiéramos en primer lugar analizar las distintas metodologías utilizadas por ambas escuelas con el fin de definir, dentro de las limitaciones de este artículo, cuáles son los límites con que cada una de dichas técnicas es capaz de "reflejar" la realidad del pasado.

III. ESTUDIO CRÍTICO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS PALEOAMBIENTAL

Como se ha podido observar en el capítulo anterior, las discrepancias existentes entre las diferentes escuelas afectan no sólo a las conclusiones generales acerca de la evolución paleoambiental, sino también a la propia capacidad de las distintas metodologías propuestas para llegar a esas conclusiones. Cualquier intento por estudiar sintéticamente las conclusiones obtenidas por los diversos métodos de análisis pasaría lógicamente por un análisis crítico previo de los mismos. ¿Qué información puede pro-

porcionarnos la geología, la palinología, entre otros?. ¿Cuáles son los límites que ofrecen dicha información?.

Las metodologías analizadas se centrarán en aquellas que son consideradas por los investigadores como lo suficientemente precisas para evidenciar fases climáticas leves y cortas (interestadios).

1. Sedimentología y Geoquímica.

En 1977 el grupo de trabajo del Oeste de Europa, de la comisión internacional del INQUA, editó un estudio colectivo bajo el título *Approche écologique de l'Homme fossile.* En dicha obra, H. LAVILLE y J.C. RENAULT MISKOVSKY dedicaron un capítulo a la metodología del análisis sedimentario en cuevas y abrigos, en el cual afirmaban de manera contundente:

"La sedimentología permite evidenciar las oscilaciones climáticas que se han sucedido en los distintos estadios de la evolución del hombre paleolítico y, así mismo, acontecimientos climáticos menores dentro de las oscilaciones", (LAVILLE y RENAULT-MISKOVSKY 1977, p.21).

Esta afirmación está en la base de la cronología clásica de las culturas paleolíticas europeas. Esta misma metodología se ha intentado aplicar a otras zonas del mundo con resultados variables. En el mismo trabajo, los autores consideraban que esta técnica tenía sus límites. En primer lugar, los depósitos eran complejos, pues no sólo se veían afectados por el clima que correspondía al momento del depósito, sino también por las alteraciones posteriores. Así mismo la situación, la orientación y la naturaleza del sustrato podía cambiar los resultados de una cueva a otra. Las variaciones climáticas deducidas eran sólo relativas. No se podía establecer la temperatura y precipitaciones en un momento dado y, evidentemente, tampoco podían establecerse las variaciones de carácter estacional. La sedimentología no podía proporcionar cronologías absolutas, por lo que la utilización de otras técnicas era imprescindible.

Los autores concluyen haciendo una llamada de atención sobre los elevados costos de una investigación de este tipo, pero también hacen hincapié en la necesidad de multiplicar al máximo las técnicas de análisis. El proceso de formación de yacimientos en abrigos fue sintetizado por LAVILLE, RIGAUD y SACKETT (1980).

Como anteriormente pudo verse, el análisis de las variaciones climáticas para el Würm dependía en buena medida de la variación porcentual de la fracción gruesa respecto a la fina. Esto marcaría las oscilaciones de la temperatura. El proceso de redondeamiento de los gelifractos marcaría períodos más húmedos o menos secos, y las discordancias erosivas marcarían los templados y húmedos. En las cuevas, a los fenómenos anteriores, se unirían las reactivaciones kársticas, con la formación de estalactitas y estalagmitas, suelos calcáreos, concreciones, etc,...

También se ha hecho referencia a las críticas de ciertos autores a los procesos erosivos de carácter hídrico, que según la escuela clásica venían ligados a climas templado-húmedos. Tanto BUTZER como FARRAND, ambos con experiencia en excavaciones de cuevas y abrigos, consideraban que el modelo era mecánico y simplista (BUTZER 1989; FARRAND 1988). Si todos los períodos húmedos creaban condiciones erosivas, sería difícil explicar las razones de los grandes depósitos postwürmienses en multitud de cuevas.

Todo ello originaba graves problemas de interpretación. Los períodos templados durante la última glaciación o bien no existieron, al menos no con la intensidad y duración del Holoceno, o bien las cuevas se comportaron sedimentariamente de manera diferente en distintos lapsos de tiempo. Este fenómeno es tan evidente que incluso la sedimentología clásica ha debido cambiar parte de sus propuestas. Veíamos cómo HOYOS opinaba sobre el concepto de interestadio, que él consideraba como un período fresco y no templado, más húmedo que un estadio pero menos que en los momentos actuales. Por su parte, H. LAVILLE en su trabajo publicado en 1988, revisaba su propuesta cronoestratigráfica para el Perigord (tabla 7).

En el nuevo sistema, el Würm es dividido en dos grandes períodos, el Würm inicial y el Würm final, separados por un único interestadio. A su vez, estos dos períodos son subdivididos en oscilaciones menores. Estas oscilaciones vendrían marcadas por un incremento de la humedad y no tanto de la temperatura. En los trabajos citados se sigue ligando el análisis de los gelifractos al clima, sin embargo esto no parece tan evidente para otros sedimentólogos:

"La interpretación de las plaquetas, fracción de roca angulosa en los sedimentos de abrigos rocosos aún no está resuelta. La acción del hielo/deshielo parece haber tenido demasiada importancia y muy poca evaluación crítica, a pesar de que esta interpretación llegó a ser mucho más sutil desde que ha sido publicado el excelente trabajo del laboratorio de CAEN (GUILLIEN y LAUTRIDOU, 1974)", (FARRAND 1982, p. 25).

FARRAND concluye que este trabajo indicaba tres factores que dejaban en una situación difícil a la interpretación tradicional:

- La repetición frío/calor no era el único factor de formación de gelifractos.

- La intensidad de la alternancia hielo/deshielo producía un aumento de la fracción fina.

- El proceso de formación de gelifractos por la acción del hielo/deshielo no tenía porqué ser contemporáneo al de su deposición.

NOMENCLATURE			
Traditional		New	
WÜRM IV	IX VIII VII VI V IV III II I	LATE WÜRM	XXIV XXIII XXII XXI XX XIX XVIII XVII XVI
Würm Interstadial III-IV			XV
WÜRM III	XIV XIII XII XI X IX VIII VII VI V IV III II I		XIV XIII XII XI X IX VIII VII VI V IV III II I
Würm Interstadial II-III		Würm Interstadial	
WÜRM II	VIII VII VI V IV III II I	EARLY WÜRM	XVIII XVII XVI XV XIV XIII XII XI
Würm Interstadial I-II			X
WÜRM I	IX VIII VII VI V IV III II I		IX VIII VII VI V IV III II I

Tab. 7. Equivalencia entre el sistema cronológico tradicional y su nueva revisión (LAVILLE 1988).

En el primer caso, FARRAND pudo constatar personalmente en el Perigord que las paredes debilitadas por fenómenos meteorológicos, como la lluvia, viento, etc..., se resquebrajaban y caían en forma de fragmentos angulares, indistinguibles de los producidos por la acción del frío. Así mismo, los investigadores determinaron que en períodos cálidos y húmedos, la hidratación de paredes y techos de los abrigos generaba plaquetas de roca angulosas. La razón era clara: en los abrigos, la acción del agua produce los mismos efectos de disolución de carbonatos, es decir, la lluvia lava esta disolución, al contrario que en las cuevas. El resultado final es que las paredes terminan fragmentándose y cayendo.

En el segundo, las investigaciones de GUILLIEN y LAUTRIDOU demostraban que los procesos de hielo/deshielo eran los responsables del aumento de materia fina. Esto lleva a FARRAND a afirmar:

"En términos de formación, la matriz es una parte integrante de los derrumbes. Esto no debe ser tratado como una entidad aparte", (FARRAND 1982, p. 25).

Por último, estos investigadores constataron la repetición de un fenómeno peculiar. En muchas ocasiones la progresiva fragmentación de paredes y techos de una cueva, por la acción de hielo/deshielo no era la causante de la caída de roca. Cuando una pared en esta situación sufría una hidratación en un período templado y húmedo colapsaba cayendo numerosas plaquetas de gran tamaño. Esto creaba un problema metodológico básico. Aun cuando la formación de plaquetas correspondía a un período frío, su sedimentación era contemporánea de un momento cálido y húmedo, con lo que el material arqueológico contenido junto a él no tenía porqué corresponder a un período climático riguroso. Las conclusiones a las que llegó este autor son que los restos arqueológicos pueden no ser contemporáneos del nivel sedimentario(FARRAND 1988).

La complejidad de los procesos sedimentarios en abrigos y cuevas viene unido a las alteraciones del sedimento geológico por la acción tanto antrópica como animal. El ser humano es directamente responsable de la introducción en las cuevas de una abundante cantidad de restos, en los que se incluye el material lítico (sílex, placas de arenisca, piedras para hogares y otros). Los materiales que, como el sílex, pueden ser atribuibles con relativa facilidad al exterior del yacimiento, no ofrecen un gran problema. Sin embargo el hombre también introduce material calizo ajeno a la cavidad que en composición es idéntica a los existentes en el interior, creando graves

etc,..., introducido por los pies o patas de hombres y animales, representa una parte importante de la matriz sedimentaria. El hombre transporta grandes cantidades de materia orgánica (material óseo, cuero, piel, vegetales...), parte de los cuales se descompone y se mineraliza, otra parte permanece más o menos intacto. Esto, unido a las deposiciones fecales, puede variar totalmente la química sedimentaria, afectando tanto al pH del suelo como a los procesos geoquímicos del mismo. La elevadísima presencia de componentes de origen orgánico, potasio, calcio, fósforo y carbono, tienen como corolario una serie de procesos químicos que, junto a fenómenos como la oxidación y/o remociones contemporáneas o postdeposicionales, alteran muchos de los fenómenos que permitirían un análisis medioambiental.

A esto habría que añadir las alteraciones debidas tanto al pisoteo humano como a la acción de determinados animales (topos, gusanos, etc, ...) que remueven los sedimentos (pudiendo llegar a los 10 cm en el caso del pisoteo y mayor en caso de excavaciones originadas por los animales). El hombre también puede alterar el microclima de la cueva a través de los hogares que enciende, donde el aumento de la temperatura acelera la caída de fragmentos de pared y techo, junto con la remoción e introducción de materiales en el vestíbulo.

Los materiales sedimentados durante los períodos de ocupación pueden estar compuestos entre un 5% y un 25% de materia orgánica, entre 1% y un 2% de compuestos fosfatados y entre un 2% y 50% de restos artefactuales. El resultado final es un conjunto tremendamente heterogéneo y difícil de analizar. En las zonas interiores de las cavidades, las alteraciones antrópicas son mucho menores. En cambio los resultados de la variación ambiental se atenúan y los restos culturales, si existen, son raros, dificultando una correlación clara con las zonas próximas a la entrada. BUTZER analiza estos fenómenos y llega a las siguientes conclusiones:

"Este ejemplo no sólo pone en guardia en contra de la opinión generalizada de que las cuevas son ideales para la preservación de asociaciones primarias, sino que demuestra que las secuencias arqueológicas de las cuevas representan un tipo especial de sistema arqueosedimentario que requiere ser estudiado y excavado con las técnicas y los métodos geo-arqueológicos apropiados", (BUTZER 1989, p. 83).

Esto implica que la posibilidad de analizar los sedimentos en cueva, a nivel de pequeñas oscilaciones de cambio ambiental, es problemática. W.R. FARRAND, a este respecto, dice:

"Esta mezcla de sedimentos debe ser clasificada por el sedimentólogo, pero esto es una tarea difícil porque los depósitos están totalmente inmaduros en opinión del sedimentólogo, p.e., fuertemente removidos de su origen, pobremente clasificados granulometricamente, consolidados relativamente o modificados de otra manera, tanto por ser depositados simultáneamente por diversos mecanismos, tales como la caída de rocas y el viento. Las curvas trazadas a partir de los datos de los sedimentos generalmente producen mucho "ruido" y han de ser interpretados de manera conservadora", (FARRAND 1982, p. 21).

2. La palinología.

"De todos los métodos comúnmente empleados en la reconstrucción de los ambientes cuaternarios, indudablemente el más ampliamente utilizado y reputado como el más versátil es la técnica de análisis palinológico (o, más correctamente, estratigrafía polínica)", (LOWE y WALKER 1997, p. 163).

Este juicio de valor es un claro indicativo de la importancia que los análisis de polen fósil ha alcanzado en tiempos recientes. Estos autores confiesan que el espacio que dedican a esta técnica en su obra es ridículo si se compara con la ingente cantidad de publicaciones existentes en este campo.

En realidad, como se ha podido apreciar en el primer capítulo, el principal problema tratado hasta ahora ha sido el discutible intento (para muchos palinólogos) de reconstruir fases climáticas a partir de la sedimentología y la palinología "dependiente" de ella. Esta polémica implica necesariamente el intentar definir el alcance de los análisis de "estratigrafía polínica", tanto en sus capacidades y límites intrínsecos como en el grado en el que permite reconstrucciones medioambientales.

Todas las plantas superiores (angiospermas y gimnospermas) producen grandes cantidades de polen, cantidades variables según las especies, como parte vital de su sistema reproductor. Junto a ellas, las inferiores, como criptógamas, helechos o peridofitas y musgos o briofitas, producen esporas que son estudiadas normalmente junto con los pólenes. Por su pequeño tamaño, pólenes y esporas pueden ser transportadas por múltiples agentes, como el aire, agua o animales. Las esporas y los pólenes de muchas de las plantas superiores, sobre todo gramíneas y coníferas, son anemófilas, es decir, son transportadas por el viento. Su pequeño tamaño y la presencia de sacos rellenos de aire les permite mantenerse en el ambiente durante mucho tiempo, y ser arrastrados con facilidad. Los pólenes entomófilos, generalmente más grandes, están dotados de espinas, pilosidades y otros elementos que les permiten adherirse a cualquier objeto. Están adaptados a su transporte por insectos, aves y mamíferos (incluido el hombre). Con el fin de estudiar con claridad las distintas fases del proceso, que se inicia en el momento de su desprendimiento, hasta el análisis de la muestra fósil por el

palinólogo, dividiremos el estudio en una serie de puntos:

a. *Dispersión.* Los pólenes entomófilos, de manera general, son producidos en cantidades mucho menores que los anemófilos. Estos pólenes aparecen sub-representados con respecto a la abundancia relativa de las plantas de origen y son transportados a distancias cortas. Ciertas plantas son autógamas, es decir se polinizan a sí mismas, y en ocasiones no abren las flores, con lo que se libera muy poco polen, haciéndolas pasar prácticamente inadvertidas.

Para los anemófilos el viento es uno de los primordiales agentes dispersores, hasta el punto de que se ha hablado en ocasiones de una especie de plancton aéreo. Las distancias a las que puede llegar a ser transportado es enorme. En las islas Shetland se han llegado a medir lluvias de polen en concentraciones de 30granos/ m^3 de aire. Como la mayor parte del polen era arbóreo (estas islas están completamente desforestadas) y concretamente de *Betula* y *Pinus,* éste es originario, casi con seguridad, de Escandinavia propiciado por los vientos dominantes. Un proceso similar se constata en un área desforestada del Oeste de Groenlandia. En este caso son frecuentes las concentraciones de polen de *Alnus, Betula, Pinus* y *Piccea,* en la lluvia polínica procedente del continente americano, (FREDSKILD 1973, en LOWE y WALKER 1997).

En áreas forestales el viento puede soplar a través de los árboles. En este caso, el polen se dispersa con dificultad a través de las copas, aunque lo hace más fácilmente a través de los troncos. Esto implica el hecho de que los pólenes de hierbas y arbustos, liberados cerca del suelo, se dispersen mucho mejor que los de plantas de mayor altura. El resultado es que en el caso de bosques cerrados, el polen arbóreo puede quedar subrepresentado frente a los bosques abiertos donde la dispersión está mucho más favorecida.

El agua es también uno de los agentes de transporte más comunes, actuando de dos maneras. En primer lugar las lluvias, sobre todo las tormentas primaverales, que precipitan al suelo de forma repentina todo el polen. No todas las plantas polinizan al mismo tiempo, por lo que al ser las lluvias aleatorias en el tiempo y en el espacio, la caída de polen puede ser muy variable para el mismo área de un año para otro. En segundo lugar, los ríos y riachuelos, así como las aguas de escorrentía superficial, arrastran el polen que se sedimenta en el momento en que el agua deja de tener poder de arrastre. Este podría ser el caso del interior de cuevas, abrigos rocosos, lagos, lagunas, turberas, etc,...

b. *Deposición.* Los problemas de deposición en los distintos ambientes dependen generalmente de la relación entre el tamaño de la "superficie de deposición", la vegetación y los vientos dominantes. En una turbera o un lago de gran tamaño, la posibilidad de recibir polen de una área más grande es, por lógica, mayor. Una turbera grande (Grande Pile por ejemplo, con una extensión de unas 25 ha) recogería polen de una zona mucho más amplia de la que lo haría una pequeña laguna rodeada de árboles o una cueva. En cuevas y abrigos utilizadas intensamente por el hombre es poco probable que éste permitiese el crecimiento de una vegetación alta que imposibilitase la visión exterior. La eliminación de dicha vegetación (tala, fuego, ...) produciría, ante un paisaje forestal próximo a la cueva, una sobrerrepresentación de los arbustos y herbáceas de la entrada. A esto habría que añadir, como se ha visto, una sobrerrepresentación del polen de vegetación entomófila debido a la actividad humana o animal.

c. *Sedimentación.* Veíamos que las técnicas de reconstrucción paleoambiental a partir de los análisis polínicos deberían llamarse más propiamente "estratigrafía polínica". La sucesión presente dentro de una matriz sedimentaria es la base de las reconstrucciones polínicas, ya sean suelos, sedimentos en cuevas o abrigos, sedimentos lacustres o turba. La definición estratigráfica y cronológica de cada una de estas matrices es fundamental.

En los lagos y lagunas los sedimentos se forman tanto por acumulación de los pólenes por lluvia polínica como por el arrastre del agua, y el polen puede representar especies o grupos de especies diferentes dependiendo del agente sedimentario, la distancia de transporte, etc,... Las remociones de la deposición pueden deberse a los movimientos del agua, al viento y corrientes de convección a causa de la temperatura. Incluso los mismos sedimentos superficiales sin consolidar pueden quedar alterados por las corrientes de agua y por la acción de animales acuáticos y cavadores (LOWE y WALKER 1997).

El caso de las turberas es otro. Por lo general, las turberas no se caracterizan por fuertes corrientes de agua, por procesos erosivos o alteraciones de otro tipo. La sedimentación en una turbera es muy lenta, por deposición de materia orgánica que no llega a degradarse completamente. Las turberas ácidas, producto del encharcamiento por lluvia, son muy pobres en materias minerales, mientras que las alcalinas, producto de infiltraciones o drenajes, son más ricas y crecen de forma más rápida, a un ritmo de 1 mm anual (POLUNIN y WALTERS 1989). Los granos de polen depositados en una turbera proceden de una determinada distancia al igual que los lagos, dependiendo de su tamaño. A esto habría que añadir la polinización de la vegetación que habita en las propias turberas. Esto es importante ya que la vegetación que acompaña a los diversos tipos de turbera no sólo es-

tá compuesta por plantas características sino también por otras como el abedul enano, el pino silvestre, etc..., que difícilmente pueden diferenciarse de la vegetación de suelos no encharcados (LOWE y WALKER 1997). Las turberas ácidas son particularmente complicadas porque al ser pobres y compactas son medios ideales para la corrosión y degradación del polen. La corrosión de la exina, la inina y las formas exteriores del grano hacen imposible la identificación. La degradación funde los elementos estructurales en una sola masa indistinguible.

Las turberas con una historia muy larga han pasado por varios episodios climáticos y, por lo tanto, por varios estadios. Desde turberas alcalinas en climas templados forestales a turberas ácidas en climas fríos tundroides. La posible destrucción de una parte de los granos, cuya resistencia depende de cada especie, es difícil de evaluar y complica los análisis. En segundo lugar, las turberas ácidas se resisten a ser datadas por C^{14}, con riesgo de resultados invertidos o incoherentes (WOILLARD y MOOK 1982).

Los abrigos y cuevas tienen problemas de distinto origen. En principio los primeros reflejarían el polen de áreas más amplias y las segundas de áreas más locales o su propio polen. Estratigráficamente, los problemas fundamentales de ambos tipos de receptores de polen son, por un lado, el ya visto respecto a la distorsión antrópica y, por otro, la cuestión de la contemporaneidad entre polen y sedimento o estrato que lo contiene. M. COUTEAUX llamó la atención de los palinólogos que daban por hecho muchos elementos que quizá no fueran ciertos:

"Sólo se discutirán aquí algunos principios pues, a fuerza de no haberse puesto nunca en duda, tienden a convertirse en postulados de base, utilizados consciente o insconscientemente en muchos casos en el momento de la explotación de los resultados delanálisispolínico", (COUTEAUX 1977, p. 259).

Tanto en Gare de Couze como en La Faurelie I y II, COUTEAUX observó la presencia de polen de cereales en niveles del Magdaleniense y Aziliense. Sin duda se trataba de una percolación por lixiviado. El problema era que, siendo el tamaño de polen de cereales relativamente grande, ¿hasta qué punto el resto de los pólenes observados era contemporáneo o había llegado de los niveles superiores?. Si tenemos en cuenta que buena parte de los sedimentos en abrigo y cueva de época würmiense son de grano grueso, las posibilidades de una distorsión aparecían como obvias.

d. *Recogida y análisis.* Los problemas de toma de muestras para análisis polínicos con su corolario en el estudio de laboratorio, no son propiamente objeto de este trabajo. La identificación de los pólenes es obviamente el elemento en el que se sustenta todo el edificio de la estratigrafía polínica. En principio, la capacidad esencial de la palinología sería la de reconstruir las comunidades vegetales. En ocasiones se ha conseguido diferenciar las distintas especies de plantas presentes a través del polen analizado y se ha realizado un gran esfuerzo por parte de los investigadores para conseguirlo mediante microscopios ópticos de alta resolución. A pesar de los estudios en profundidad sobre identificación de pólenes, incluidos amplios catálogos, lo cierto es que hoy en día los diagramas polínicos no permiten mas que identificar el género (por ejemplo *Tilia, Fagus, Quercus,*...) o, peor aún, la familia (poaceas, ciperaceas,...). Con el fin de poder dar un ejemplo muy importante, analizaremos el caso de Grande Pile (WOILLARD 1978).

En los niveles con elevado contenido de polen arbóreo, como por ejemplo Saint Germain II_4, los géneros presentes serían, por orden de importancia: *Quercus, Corylus, Carpinus, Betula, Pinus, Alnus, Picea, Ulmus, Tilia, Fagus, Fraxinus-Acer* mas pequeñas cantidades de Graminae, Cyperaceae y Artemisiae. En estas condiciones se puede presuponer que nos hallamos ante un bosque (tasa de p.a. superior al 80%) compuesto esencialmente de árboles caducifolios. Teniendo en cuenta que los árboles más abundantes son *Quercus* y *Carpinus,* y *Corylus* parece ocupar una posición predominante en el estrato arbustivo, se podría decir que estamos ante un bosque centroeuropeo de roble-carpe *(Carpinus betula, con Quercus robur, Quercus petraea,* junto con *Fraxinus excelsior, Tilia cordata, Acer pseudoplatanus* y, en menor medida, *Picea abies),* más exactamente en su versión noroccidental. Ello correspondería casi con exactitud a la vegetación natural del área actual de Grande Pile.

El problema comienza cuando intentamos identificar las especies. Con los géneros presentes, y teniendo en cuenta que la proporción relativa de los pólenes no indica necesariamente una presencia del mismo calibre del género en cuestión, podríamos considerar al área de estudio como un bosque caducifolio atlántico, un bosque oriental, un bosque submediterráneo (con *Fagus,* como polen exógeno, lo que, como vimos, es perfectamente posible) o un bosque mixto subboreal. En todos estos ecosistemas podrían producirse los géneros representados en el diagrama de Grande Pile, aunque en ocasiones con diferentes especies. Esta situación nos ofrecería un campo climático que se extendería desde las actuales condiciones del piso montano de la Cordillera Central de la Península Ibérica hasta el sur de Suecia, y desde las tierras bajas del suroeste británico hasta las proximidades de los Urales.

Todo ello ha de considerarse partiendo de que las especies presentes, pertenecientes a los géneros representados, sólo sean las que actualmente se en-

cuentran en Europa. Si esto no fuera así, sería muy difícil comprender qué tipo de bosque caducifolio estamos reconstruyendo. En el caso de períodos, durante los cuales el polen arbóreo es abrumadamente mayoritario, podríamos definir unos límites relativamente concretos. Los períodos fríos y secos de las glaciaciones poseen muy pocos géneros arbóreos y la mayor parte del polen representa a pequeños arbustos, como *Juniperus, Salix, Artemisa, Thalictrum, Batrachium* y cyperaceas mas gramíneas.

Durante 60.000 años, desde el estadio I hasta el Preboreal, esta muestra polínica sólo varía en proporción y no en composición. Sólo en el período Ognon II se supera el 50% de p.a. y en el Pleniglacial no se llega al 10%. Con estas características, y dependiendo de las especies, podríamos encontrarnos con una estepa arbolada (de *Pinus),* un subdesierto frío, un matorral montano mediterráneo o, en los períodos con tasa de p.a. más bajo, una tundra arbustiva periglacial o una landa atlántica con polen de árboles transportados por el viento desde áreas meridionales. La tasa de polen arbóreo no nos dice gran cosa, excepto que es poco probable el desarrollo de un bosque denso. El género Betula podría representar arbustos de distribución subboreal *(Betula nana* o *Betula puebescens* ssp. *tortuosa)* y los árboles *Betula pendula* y *Pinus sylvestris,* podrían crecer próximos a la misma turbera. El resultado es que sería prácticamente imposible de reconstruir un clima y mucho menos un ecosistema. Lo máximo que se puede pedir es la reconstrucción de un paisaje e incluso esto de manera relativa, ya que un bosque de coníferas aclarado y un subdesierto frío son bastante diferentes entre sí.

e. *Representación gráfica.* La representación gráfica de las curvas polínicas es uno de los problemas a los que se enfrenta la disciplina. No existe un consenso claro sobre la forma concreta en que deben representarse los resultados de los análisis. Por lo general, la forma más común de representación (figura 11) incluye en un mismo gráfico:

- Diferencia entre la tasa de polen arbóreo y no arbóreo.
- Taxones arbóreos y arbustivos a nivel de géneros reconocibles, y sus porcentajes.
- Taxones no arbóreos a nivel de familias.

Estos distintos datos están ordenados de maneras diferentes según los autores. En ocasiones se indican sólo los taxones arbóreos, sin referencia a la curva de p.a/p.n.a. (figura 12), o incluso existen sistemas abreviados que sólo indican taxones mediterrá-

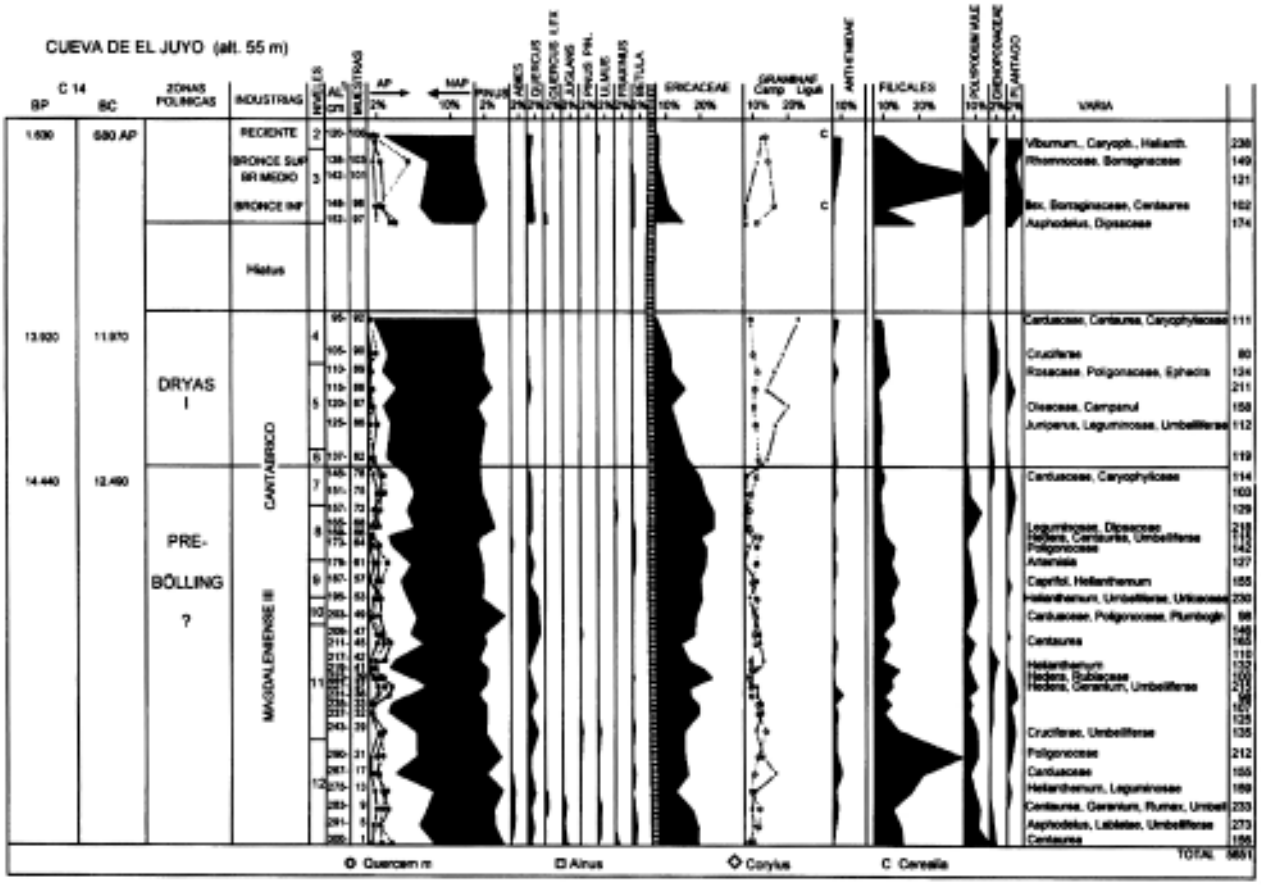


Fig. 11. Ejemplo de diagrama polínico, cueva de El Juyo (BOYER-KLEIN y LEROI-GOURHAN 1987).

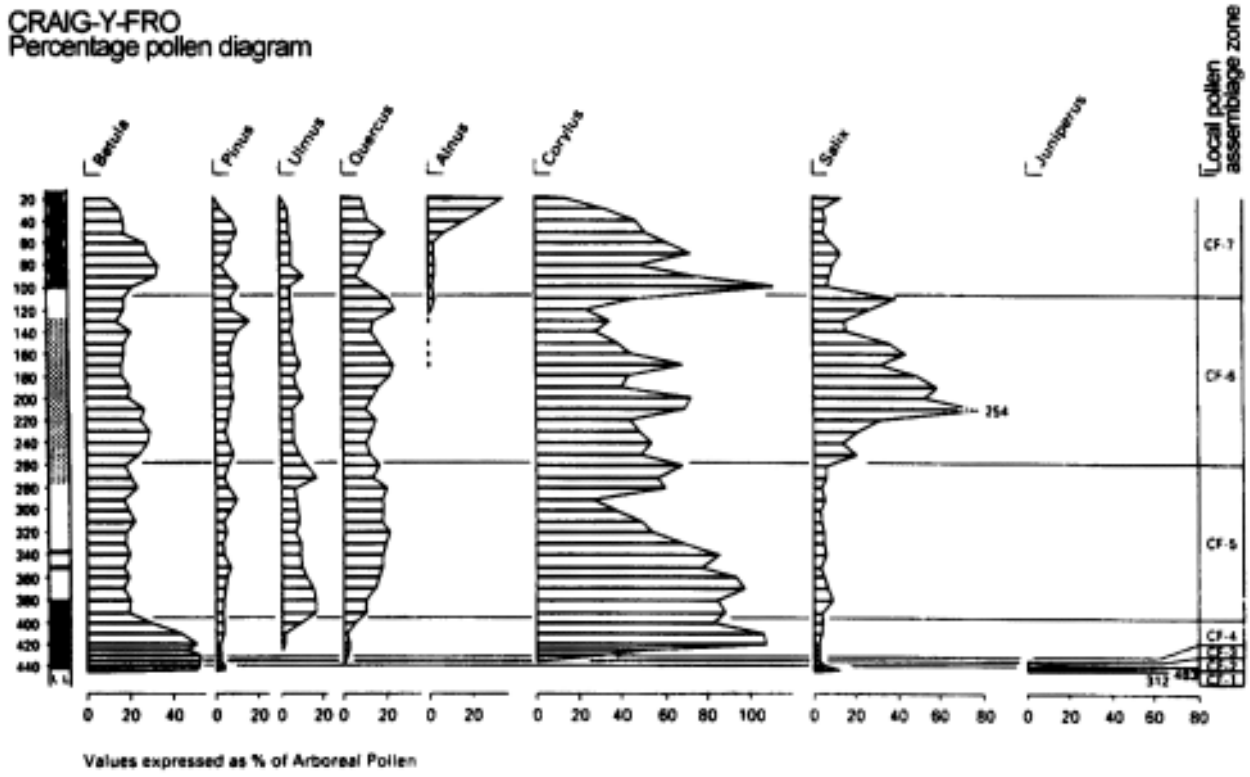


Fig. 12. Modelo de diagrama polínico basado únicamente en porcentajes de polen arbóreo (WALKER 1982, en LOWE y WALKER 1997, p. 167)

neos, templados, coníferas y curva de p.a./p.n.a. (figura13).

Todos los anteriores son diagramas de porcentajes polínicos, que indican, no el volumen absoluto de polen, sino el porcentaje de un taxón o de un conjunto de taxones (arbóreos, por ejemplo), con respecto a los demás. Evidentemente, este sistema posee un problema. Las relaciones porcentuales entre los distintos taxones o grupos de estos son interdependientes. De esta manera si una especie arbórea desapareciese, o se convirtiese en extremadamente rara debido a una enfermedad, todos los porcentajes del resto de taxones aumentaría a pesar de no haberse producido ningún cambio climático ni ecológico. Si tenemos en cuenta que los volúmenes de polen pueden variar por múltiples razones, como el viento, las tormentas, etc..., toda variación en el volumen absoluto de polen de un taxón implicaría una variación en los porcentajes de todos los demás.

Una forma de eliminar este problema es realizar un estudio del volumen absoluto de concentración polínica. El método consiste en calcular un número de pólenes de diferentes especies por unidad de volumen sedimentario. En ocasiones, al sedimento se le añade polen de una planta exótica, fácilmente reconocible. Sabiendo la cantidad de sedimento utilizado y el volumen de polen exótico añadido, es relativamente simple conocer el volumen del polen fósil por unidad sedimentaria. Posteriormente se mide la velocidad de sedimentación, por ejemplo si se poseen medidas de C^{14}, convirtiéndose el diagrama de concentración polínica en un diagrama de influjo polínico medido en gramos de diferentes taxones por unidad de volumen de sedimentación por unidad de tiempo (LOWE y WALKER 1997). Este sistema permite analizar números absolutos y no relativos o porcentuales. Por desgracia este modelo posee una clara desventaja. Es muy difícil comparar espectros de distintos caracteres sedimentarios, como lagos, turberas y sedimentos en cueva. Así mismo es prácticamente imposible conseguir una escala fiable de tiempo, debido a las diferentes velocidades de sedimentación en un mismo depósito y a los decalajes cronológicos de las dataciones de C^{14} que hacen muy peligroso aventurarse a dar una medida de la velocidad de sedimentación por unidad de tiempo. Por todo ello es preferible comparar los diagramas de concentración polínica con los porcentuales, y trabajar con precaución.

Algunos autores han intentado solventar el grave problema de la diferente escala de polinización de distintas plantas mediante la creación de un "índice de producción polínica relativa". El método consiste en hallar un coeficiente relativo que compare el po-

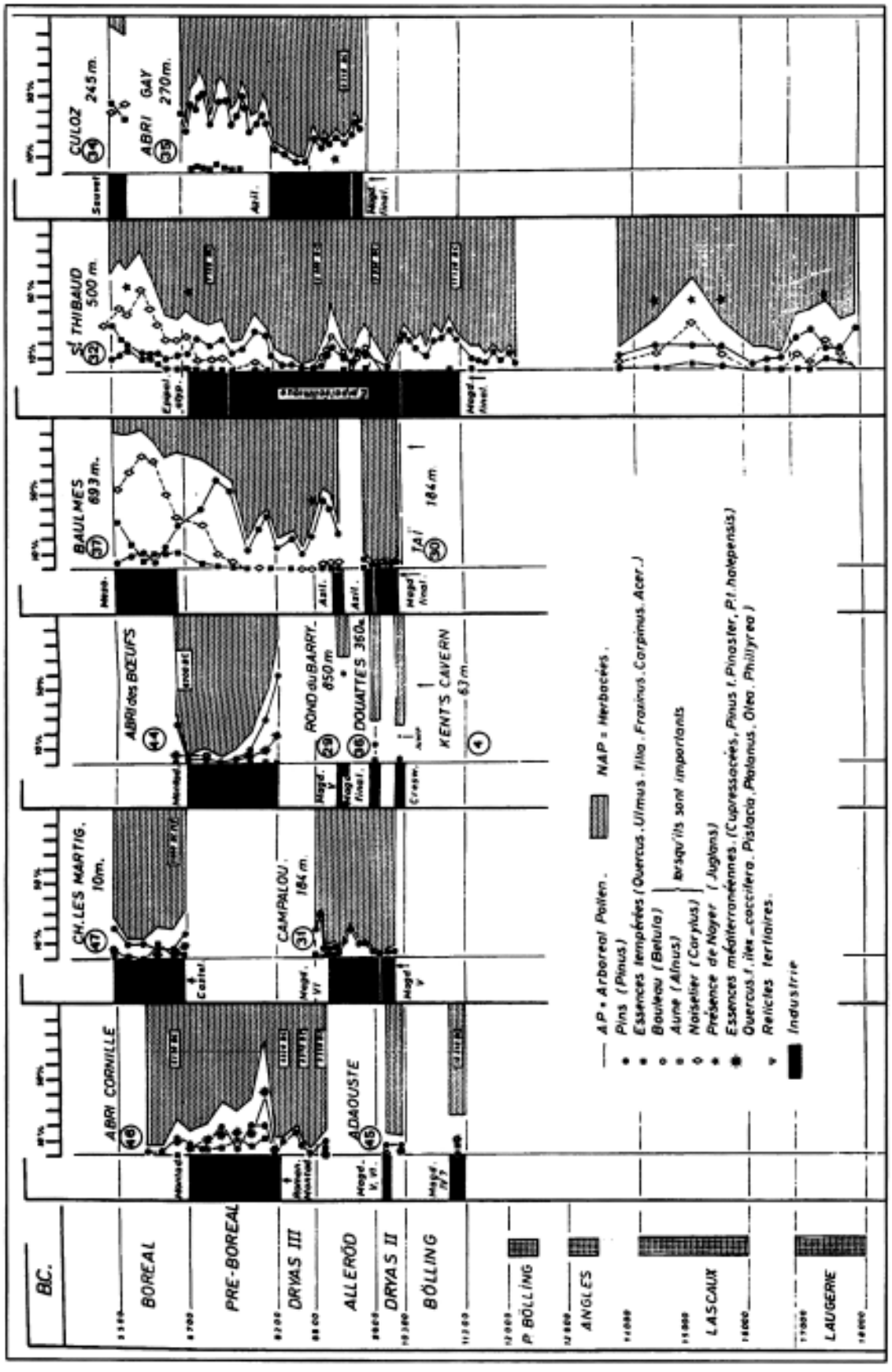


Fig. 13. Modelo de diagrama polínico simplificado (LEROI-GOURHAN y RENAULT-MISKOVSKY 1979).

len producido por una planta a nivel individual de una especie durante 50 años, con el producido por el haya *(Fagus sylvatica)* estimado en 2,45 x 1010 gramos de polen.

Realizado un estudio polínico en un área concreta y representados los datos absolutos en un diagrama de porcentajes polínicos, éstos se corrigen a partir de los índices relativos de cada especie. El sistema permite un mayor acercamiento entre la cobertura forestal real y la representación gráfica de la lluvia polínica fósil producida por la misma (figura 14).

Sin embargo, el sistema no se puede emplear con facilidad en ecosistemas desforestados, puesto que aquí no son los géneros sino las familias las que son analizadas, con el añadido de que las diferentes especies de gramíneas ciperaceas o artemisas no producen la misma cantidad de polen. Todo gráfico polínico debe poseer una subdivisión clara en las llamadas zonas polínicas. Para los palinólogos dichas zonas deben poseer una coherencia que les permita ser comparadas con otras secuencias. Sobre este principio se basa la mayor parte de la polémica sobre la interpretación de los registros polínicos en cueva. Arl. LEROI-GOURHAN considera que tanto la sedimentologia como la palinología dependen de la cronología cultural (Arl. LEROI-GOURHAN 1986).

Para los palinólogos esto es un error, ya que los especialistas en esta disciplina consideran que la palinología es por sí misma capaz de resolver aparentemente casi todos los problemas. De esta forma M. COUTEAUX, respondiendo a lo anterior, dice:

"Como conclusión, pensamos que es necesario que los palinólogos no sometan en ningún caso sus conclusiones fundamentales a los resultados de otras disciplinas. Esto les evitará tener que modificar sus conclusiones sin razones propias", (COUTEAUX 1977, p. 270).

Las comparaciones con una secuencia de referencia implica lógicamente la determinación de las mismas. Ya veíamos anteriormente que para Europa se utiliza una serie de secuencias en lagos y turberas, lo suficientemente largas y detalladas como para servir de guía. Evidentemente, los autores que, como COUTEAUX, intentan una comparación parten lógicamente de la perfecta definición de las secuencias de referencia. Por principio, toda comparación tiene un elemento de subjetividad. Para eliminar, en lo posible esa tendencia del operador, se han creado métodos que definen numéricamente las diferentes zonas polínicas. Los modelos parten del análisis multivariante por ordenador. Los dos más utilizados son el CONSLINK y el SPLITSQ. El primero tiene su base en la comparación de pares repetidos de conjuntos estratigráficos continuos, que originan una jerarquía de grupos (clusters) con patrones cualitativos (taxones) y cuantitativos (porcentaje de taxones), altamente similares. Cada uno de los grupos homogéneos en esas dos variables (clusters) indicaría una zona políni-

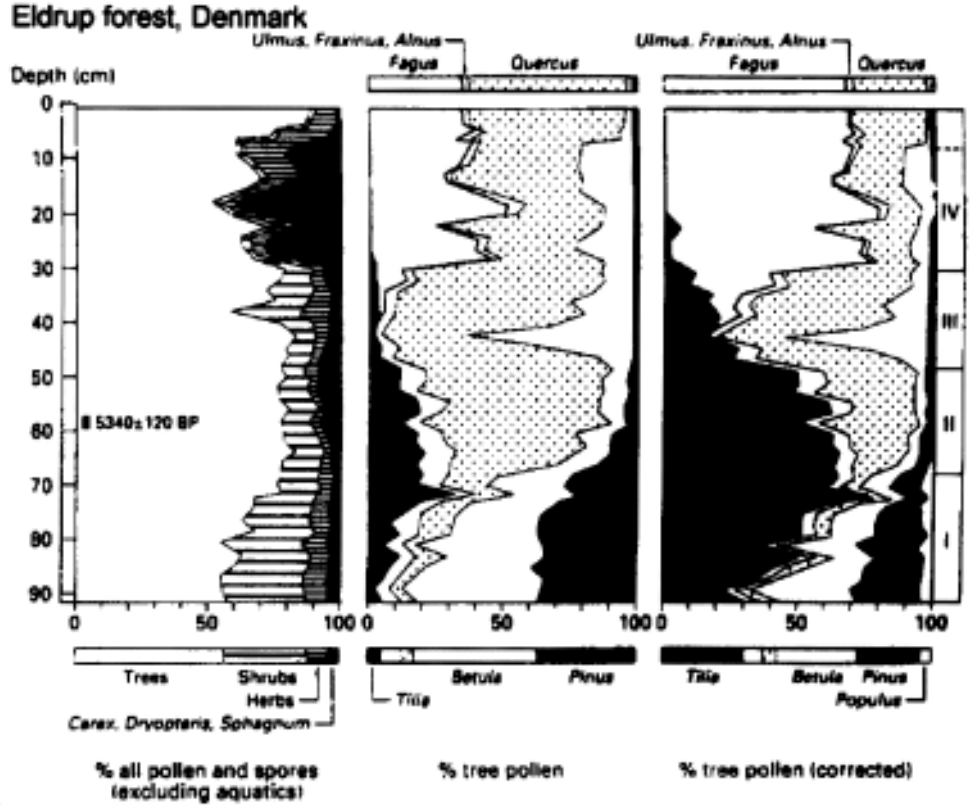


Fig. 14. Modelo de diagrama polínico corregido, bosque de Eldrup, Dinamarca (ANDERSEN, en LOWE y WALKER 1997, p. 170).

ca. El segundo método consiste en un sistema de partición jerarquizada. Cada conjunto de muestras se compara para encontrar grupos, lo más cortos posibles, en que la desviación estadística entre taxones sea mínima. Esto permite la creación de un conjunto de zonas internamente homogéneas entre sí.

Estas técnicas son utilizadas por SANCHEZ GOÑI para su análisis de las cuevas cantábricas. Cada espectro es analizado tanto porcentualmente como de forma absoluta y cada análisis parte de la presencia de un mínimo de 100 pólenes, descontando el taxón predominante, y al menos 20 taxones identificables. Los taxones presentes deben representar especies o géneros que efectivamente puedan convivir juntos (coherencia interna) o lo hagan en la actualidad (coherencia externa). Para el caso de paleoecosistemas no existentes en la actualidad, las zonas polínicas de las secuencias de referencia sirven de guía en la asociación de taxones. Posteriormente se realiza un gráfico porcentual en el que aparezcan representados por grupos: los pólenes de árboles de clima templado; los que poseen sacos aéreos (coníferas y otras gimnospermas); los pólenes no arbóreos de géneros ubiquistas; las gimnospermas xerófilas, junto con poaceas y, por último, las estépicas mas *ephedra.*

Las zonas polínicas sólo se consideran como tales cuando muestran entre sí variaciones significativas y concomitantes entre, al menos, dos taxones de diferente ecología. Un ejemplo incluye el estudio de la cueva de Lezetxiki (Gipuzkoa). SANCHEZ GOÑI cuestiona la cronología estratigráfica, así como la de C^{14} a partir de las zonas polínicas definidas por ella según el mencionado método (figura 15).

La atribución de los niveles VI y V al Würm inicial, facies Musteriense, posterior al 65.000 BP, del nivel IV al Auriñaciense y el nivel III a un 28.000-25.000 BP, propuesta por J. ALTUNA, es como poco problemática. J.M. BARANDIARAN, que excavó el yacimiento a fines de los 50 y comienzos de los 60, divide en un principio el yacimiento en 4 niveles (BARANDIARAN 1957). El nivel I atribuido a la Edad de Bronce, a pesar de ser un revuelto superficial, donde aparecen desde una lámina de sílex hasta cartuchos de fusil. Los niveles III y IV musterienses y el II al Magdaleniense superior final. Pocos años después (BARANDIARAN 1960) se sigue atribuyendo el nivel I al

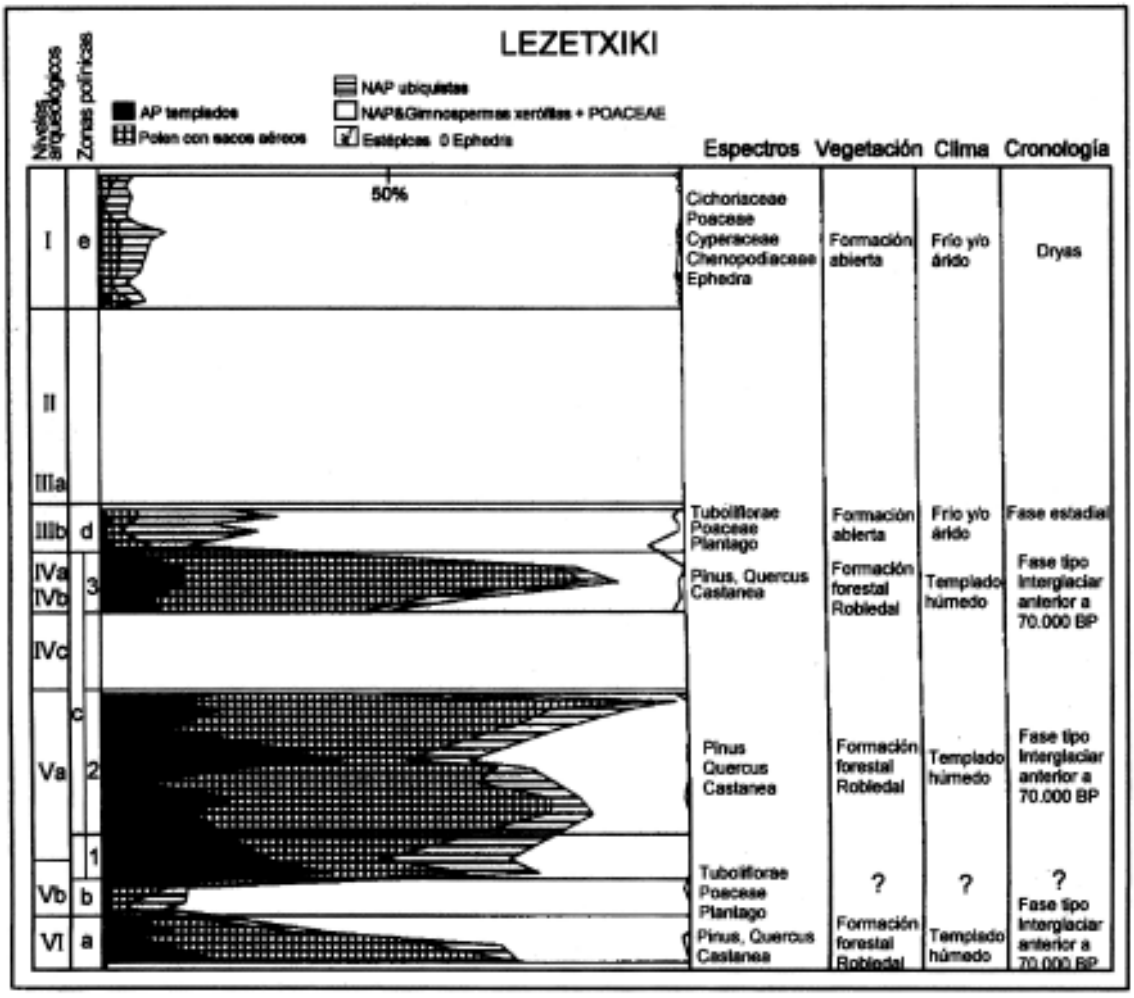


Fig. 15. Diagrama polínico de la cueva de Lezetxiki (SANCHEZ GOÑI 1993b).

Bronce, el II al Paleolítico superior sin determinar y manteniéndose para los III y IV, con ciertas reservas, la atribución anterior. En 1963 la estratigrafía cambia (BARANDIARAN 1963). El nivel I es subdividido en Ia y Ib; el nivel III en III_a y III_b; el IV en IV_a, IV_b y IV_c. Así mismo aparecen nuevos niveles, V_a, V_b y VI. Siguiendo la comparación con las secuencias de referencia. Las zonas polínicas A, B y C se enmarcarían en el pre-Würm, anterior al 70.000 BP, debido al elevado porcentaje de pólenes arbóreos de ecosistema templado y a la escasez o ausencia de estépico y de ephedra. La zona polínica D se considera del Würm inicial, anterior al 35.000 BP y posterior al 70.000 BP, debido al bajo porcentaje del polen arbóreo y el elevado índice de polen de gimnospermas xerófilas mas poaceas. El nivel I, Magdaleniense superior-final contemporáneo de la zona polínica E, es considerado por la autora como un interestadial y, en consonancia con su tesis del comienzo de esta fase cultural en Alleröd y su sustitución por el Aziliense en el Preboreal, se considera un Dryas reciente o Dryas III.

Lo mismo podemos decir para el caso de Urtiaga. La autora confirma la validez de la atribución de los niveles F y G (figura 16).

Son de una fase muy antigua, sin embargo niega que el espectro polínico confirme su atribución al interestadio de Lascaux. Los niveles E y D (inferior) son atribuidos a Dryas III y el D (superior), C y B al complejo Preboreal, Boreal, Atlántico o Sub-boreal. En esta cueva puede considerarse las dataciones de C^{14} como concurrentes con los resultados de esta investigadora.

Las reinterpretaciones realizadas por ella de las secuencias cantábricas a la luz de las secuencias de referencia merece ser tenida en cuenta. En algunos yacimientos, la relativa homogeneidad de las secuencias polínicas implica una evidente coherencia con respecto a su método de análisis de ahí el caso de las cuevas Los Azules I, Tito Bustillo, Morín, El Otero, El Juyo, Rascaño, Arenaza, Ekain, Erralla y Amalda. No entraremos en los casos que SANCHEZ GOÑI considera como de interpretación imposible, tales como Cueva Oscura, Mazaculos, el abrigo de la Peña o El Pendo, por su pobreza polínica. Caso diferente sería el de Chufin, considerado por ella como una contaminación holocena. Todo ello nos deja como base del estudio los yacimientos de El Salitre, La Riera, Zatoya y Berroberria.

Para la cueva de El Salitre, la interpretación original (figura 17) según la cual los altos porcentajes de polen arbóreo (80%) y el hecho de que más de la mitad esté compuesto por *Betula* (40%) y *Pinus,* parece indicar, según la cronología aceptada para el Magdaleniense que cubre este período (niveles VII, VI y V_d), un interestadio, Bölling o Alleröd. La caída posterior de polen arbóreo hasta el 40% parece indicar un enfriamiento, lo que significaría un estadio frío Dryas II o III (niveles V_a,V_b,V_c). El nivel III implica un nuevo incremento de las temperaturas (70% de p.a.), pero ahora la especie predominante es el ave-

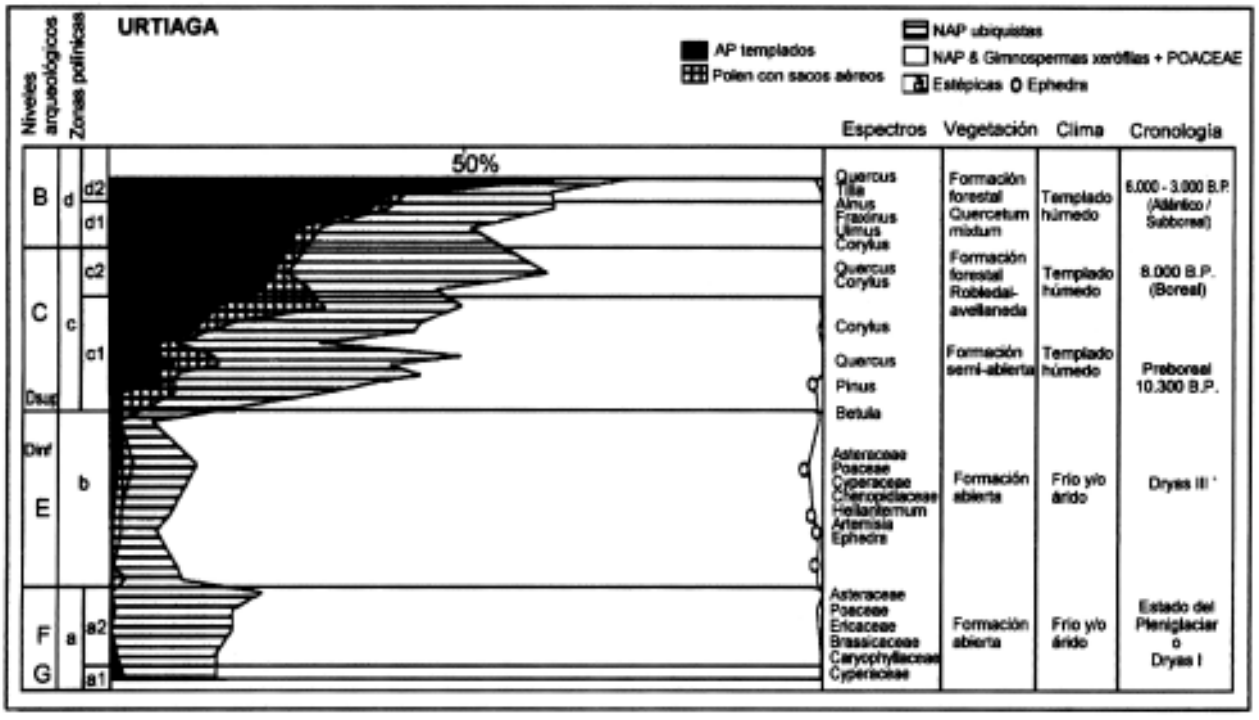


Fig. 16. Diagrama polínico de la cueva de Urtiaga (SANCHEZ GOÑI 1993b).

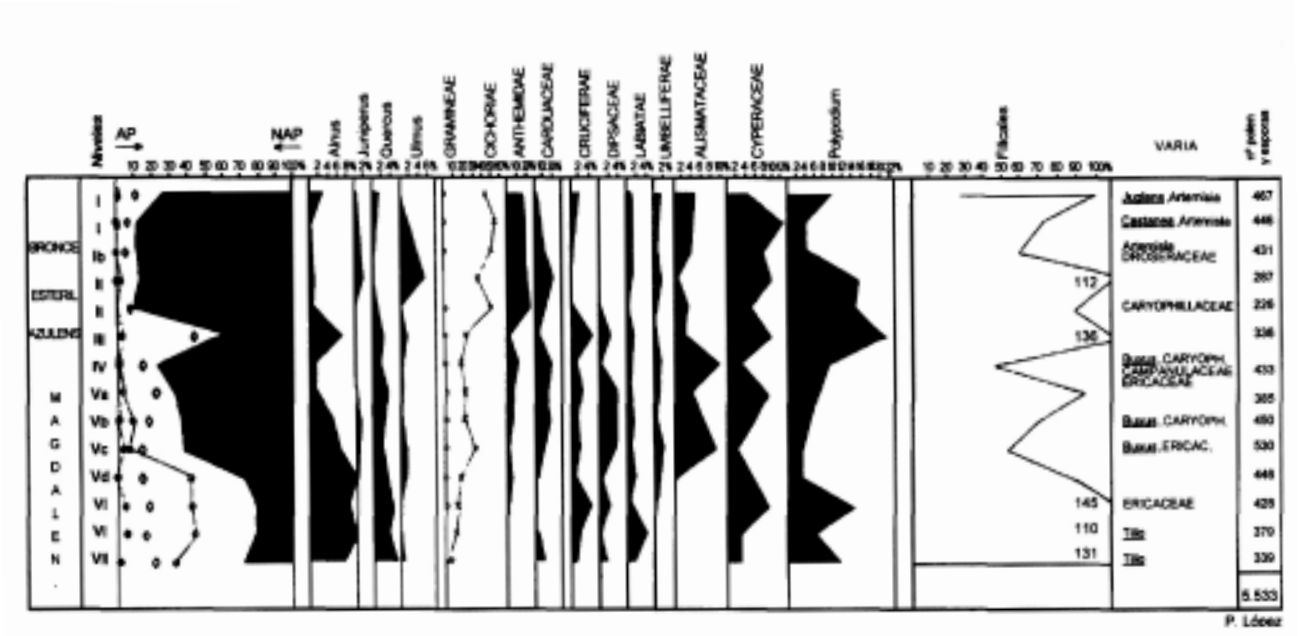


Fig. 17. Secuencia polínica de El Salitre (LOPEZ 1981).

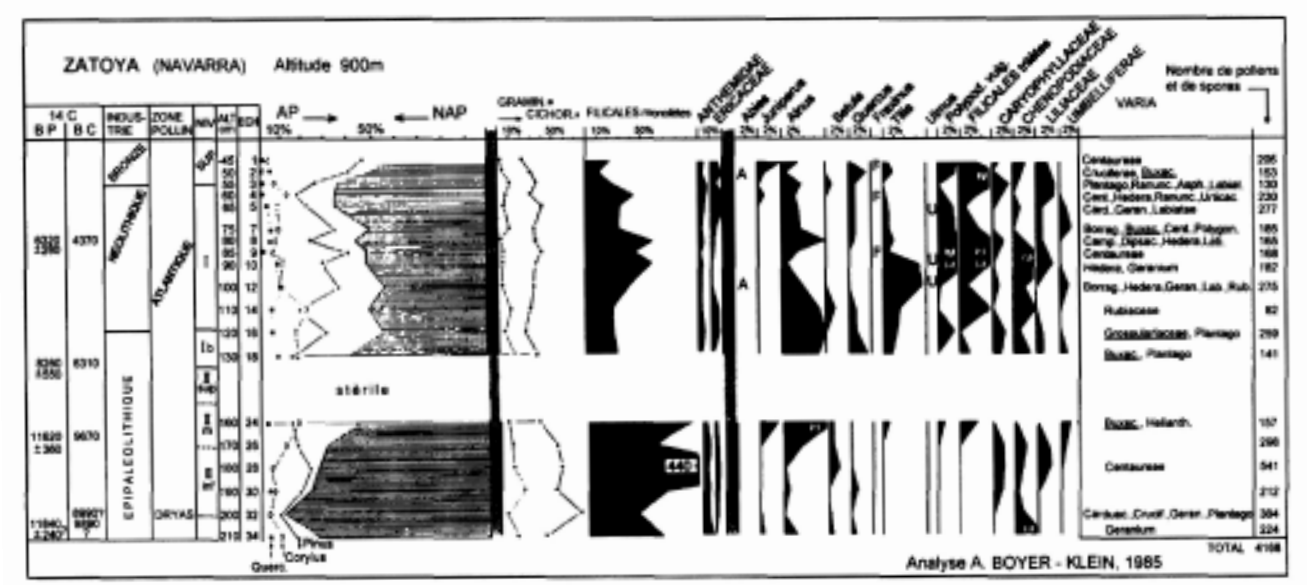


Fig. 18. Diagrama polínico del yacimiento de Zatoya (BOYER-KLEIN 1989).

llano (40%). Por último, en la Edad de Bronce (nivel I), junto a una disminución del polen arbóreo (20%), quizá de origen antrópico, puede observarse el claro predominio de taxones templados. M.F. SANCHEZ GOÑI reinterpreta esta secuencia considerando que si en las secuencias de referencia no existen o son extremadamente raros (menos del 2%), los taxones caducifolios antes del Boreal, los niveles magdalenienses, con un 33% de pólenes de este tipo, no puede considerarse como anterior a dicho período del Holoceno. Los niveles VII, VI, V y III corresponden en su totalidad al Boreal, mientras que el nivel I sería de un período posterior, en todo caso, al 2.000 BP, período en el que tanto Juglans como Castannea estarían presentes.

El caso de Zatoya (figura 18) es diferente. La reinterpretación de la autora coincide en líneas generales con la de BOYER-KLEIN. La base del nivel II inferior, con un escaso 30% de p.a., en el que aparece tímidamente *Quercus* pero no otras caducifolias, es asignado a Alleröd. El reducido nivel de p.a. (10%) y la ausencia de taxones termófilos hace que los dos autores consideren este período como Dryas III. Durante el nivel II se desarrollaría en la base un incremento de p.a. (20%), centrado en el aumento de *Pinus.* Este período correspondería al Preboreal. En

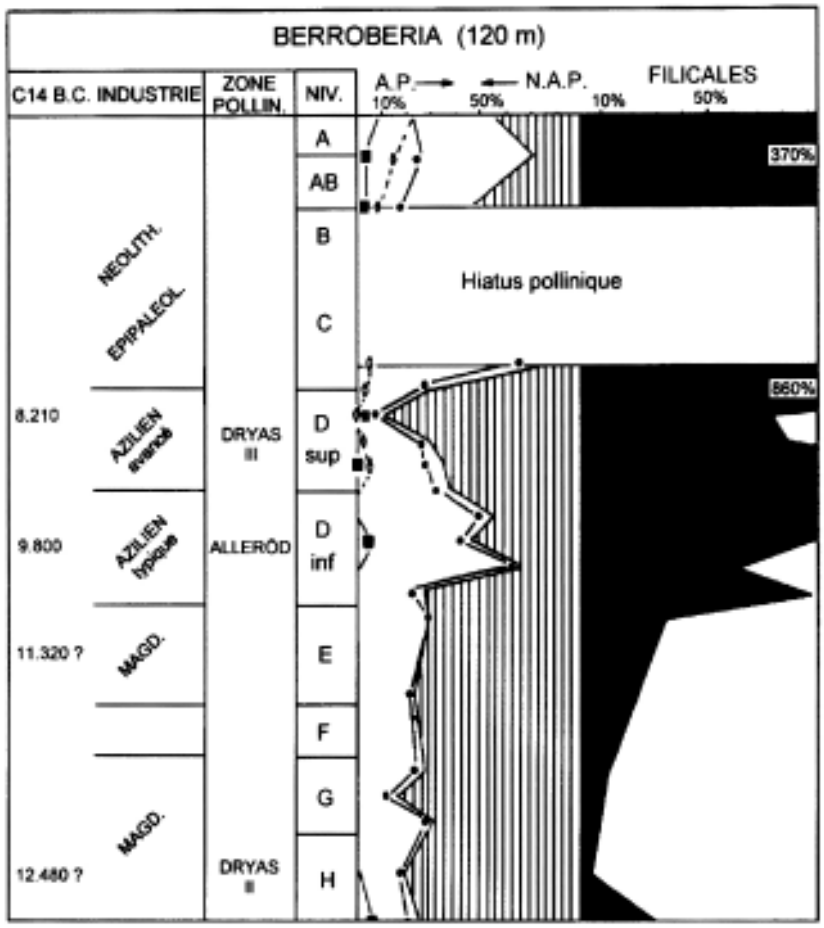


Fig. 19. Diagrama polínico de la cueva de Berroberria (BOYER-KLEIN 1988, en SANCHEZ GOÑI 1993a. p. 133).

su fase final, el aumento del p.a., hasta un 50% y siendo *Corylus* el predominante, hace defender su pertenencia al Boreal para los mencionados investigadores. Mientras, los niveles I_b y I_a serían ya plenamente atlánticos.

La cueva de Berroberria es un ejemplo de reinterpretación total (figura 19). BOYER-KLEIN identifica los niveles magdalenienses con una fase fría tardía, datada en Dryas II (aunque las dataciones de C^{14} de los niveles G y E sean antiguos, 14.430±290 BP y 13.270±220 BP respectivamente). SANCHEZ GOÑI la reinterpreta como un período estadial pero considerándolo como el período denominado Dryas I o Estadial del Tardiglacial, línea que niega la existencia de Dryas II como un estadio frío con personalidad propia (SANCHEZ GOÑI, 1996). El nivel D inferior es considerado por BOYER-KLEIN como característicamente estadial (Alleröd), debido al aumento de polen arbóreo, en torno a un 60%. El nivel D superior, con un 15% de p.a. de *Pinus, Quercus* y *Corylus,* como Dryas III, mientras que los niveles A y A-B como atlánticos. SANCHEZ GOÑI reinterpreta estas dos zonas polínicas a partir de la inexistencia de una diferencia cualitativa entre taxones. El nivel D inferior es de fines de Alleröd y el D superior del Preboreal.

La cueva de La Riera ha sido considerada por muchos autores como uno de los yacimientos más importantes, debido a su larguísima secuencia sedimentaria, que cubre desde los inicios del Solutrense superior (con la datación más antigua entorno al 20.860 BP) hasta el final del Tardiglacial en 30 niveles sedimentarios. Por desgracia muchos de ellos han indicado que su compleja estratigrafía, junto a sus extremadamente incoherentes dataciones de C^{14}, hacen de su estudio algo verdaderamente complicado (GONZALEZ SAINZ, 1989) (figura 20).

La interpretación de la secuencia polínica de LEROI-GOURHAN puede desglosarse como sigue: el nivel 1 correspondería, debido a la presencia de *Quercus, Corylus* y *Pinus,* éste último dominante, al final de un período interestadial. Inmediatamente se desarrollaría un período muy frío y muy seco (máximo Glacial), niveles 2-3 y 6-7. Los niveles 4-5 están afectados por una perturbación. Los niveles 8 a 16 se caracterizan por el extraordinario aumento de las ericáceas, que junto a la presencia continua de *Quercus, Tilex, Corylus, Alnus* y la disminución de las estépicas, indican un ambiente húmedo y templado (interestadio de Lascaux). Los niveles 17 a 20 representan un fuerte período seco. La reducción de ericáce-

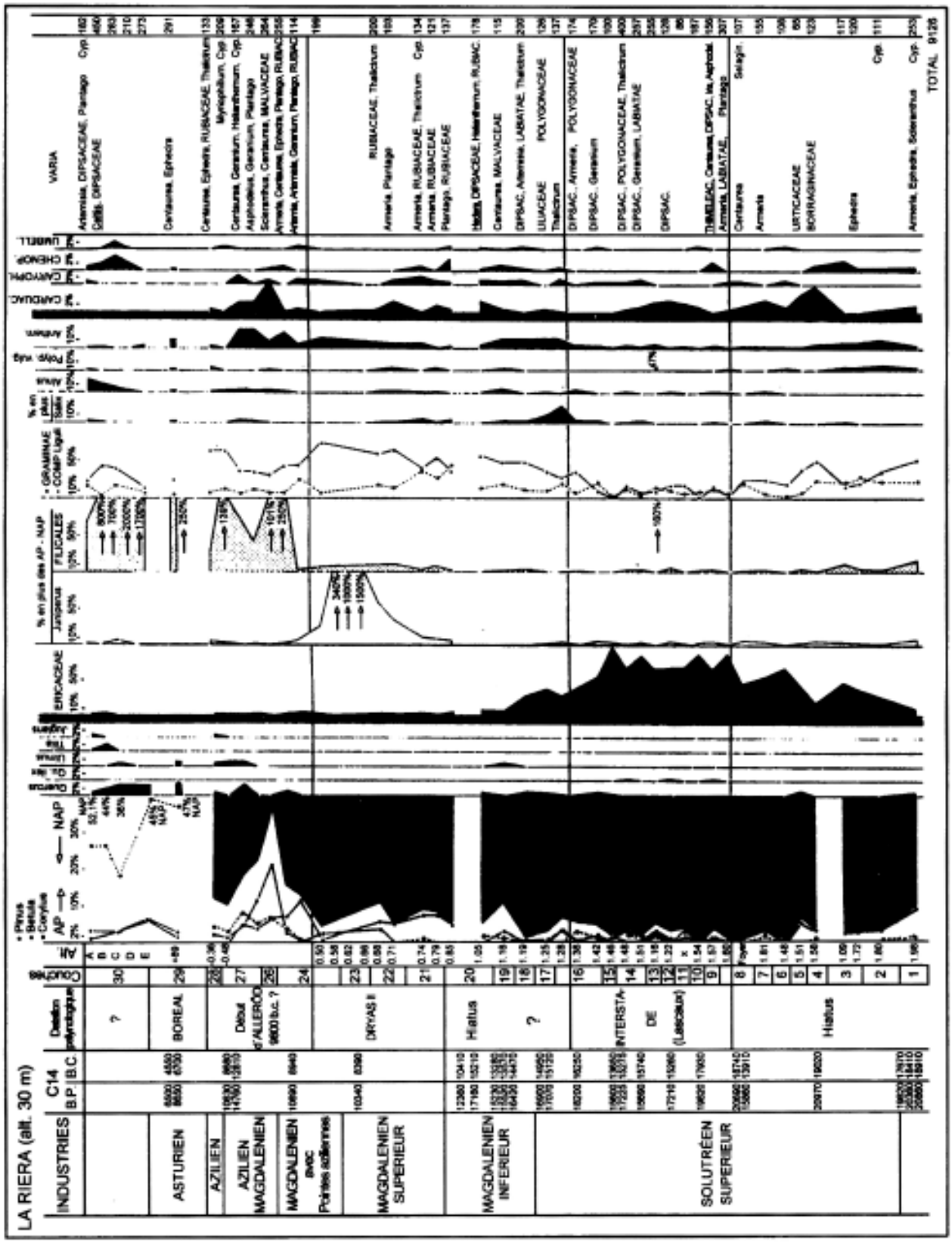


Fig. 20. Diagrama polínico de la cueva de La Riera (Arl. LEROI-GOURHAN 1986).

as y su sustitución por artemisas y cenopoidáceas indican un período seco (Dryas I). Tras un hiatus en el nivel 20, desde la parte superior de éste hasta el 23 el dominio de cicoráceas y rubiáceas, así como la desaparición de *Quercus, Corylus* y otras especies termófilas indican un período frío (Dryas II). El posterior aumento de *Betula* y *Pinus* parece indicar en los niveles 24 a 26 el desarrollo de Alleröd y su regresión en los niveles 27 y 28 el comienzo de Dryas III. Tras un nuevo hiatus, los niveles 29 y 30 reflejan, con una elevada cantidad de polen de *Corylus* (especie dominante), un ambiente Boreal (Arl. LEROI-GOURHAN 1986).

M.F. SANCHEZ GOÑI reinterpreta esta secuencia en su totalidad. En primer lugar, considera que los niveles I a 20 son esencialmente idénticos. La reducción de polen de *Pinus* no indica por sí misma unas condiciones climáticas más rigurosas.

"Las fluctuaciones de los porcentajes de Pinus no dependen necesariamente de variaciones en la densidad de la cubierta vegetal y, por consiguiente, no son forzosamente la expresión de cambios climáticos (VAN CAMPO 1969; COUTEAUX 1977)", (SANCHEZ GOÑI 1993_a, p. 103).

La sucesión considerada por LEROI-GOURHAN como interestadio de Lascaux (niveles 6-18) no lo sería puesto que la presencia de pólenes de árboles caducifolios en ambientes herbáceos y el aumento de poáceas sobre cicoráceas no es suficiente razón:

"La presencia esporádica de estas dos especies (Quercus ilex, Asphodelus) de afinidades mediterráneas en el seno de espectros netamente herbáceos no es por tanto una razón suficiente para identificar un episodio interestadial", (SANCHEZ GOÑI 1993_a, p. 103).

Este período se correspondería con Dryas I, o incluso con el Pleniglacial si tenemos en cuenta los casos de dataciones de C^{14} cercanas al 18.000 BP. La secuencia de los niveles 21 a 28 indica, según la misma autora, la secuencia típica del inicio de un interestadio o del final de una glaciación:

"En los niveles 21 a 28, el diagrama de La Riera detecta claramente la sucesión Juniperus, Betula, Pinus típica del mejoramiento climático de un interestadio o del inicio de un interglacial", (SANCHEZ GOÑI 1993_a, p. 103).

En este caso, sin embargo, el modelo es diferente. El Magdaleniense medio-final o superior-inicial, acompañado de reno de los niveles 21-23, pertenecería a los inicios del Bölling, correspondiente en la secuencia de referencia de Quintanar de la Sierra con el espectacular aumento de *Juniperus.* Tras un hiatus entre los niveles 23 y 24, el límite Preboreal-Boreal estaría perfectamente marcado en el nivel 26 *(Pinus, Betula, Corylus* y *Quercus),* en el 27 *(Ulmus)* y en el 28, en el que *Corylus* supera ya al resto. Los niveles 29 y 30 indicarían un Boreal dominado por *Corylus.*

La reinterpretación que ofrece SANCHEZ GOÑI para la secuencia polínica de la cueva de El Salitre nos coloca sobre uno de sus principales argumentos. La secuencia de referencia no permite atribuir las fases VII, VI y V_d al Tardiglacial, puesto que el 33% de los pólenes corresponden a especies arbóreas termófilas como el avellano, roble, olmo y aliso. A partir de esto, sólo se pueden plantear dos posiciones: o bien se trata de una contaminación de pólenes holocénicos, o los niveles estudiados son ya del Holoceno. La explicación como contaminación es propuesta también para Chufin, ya que esta cueva posee abundante polen arbóreo (50%), siendo un 36-46% de polen arbóreo y de helechos en pleno Solutrense, lo que no concuerda con las secuencias de referencia. Para el Magdaleniense del nivel VI de Arenaza se plantea lo mismo, debido a una presencia de *Juglans, Ulmus, Tilia* y *Quercus,* que no se corresponde con el supuesto período frío y seco de ¿Dryas III?, que sugiere la atribución del nivel superior III por C^{14} (¿10.300 BP?). El nivel I de El Otero es considerado como una contaminación por las mismas razones que el VI de Arenaza.

Evidentemente, las secuencias de referencia europeas de Grande Pile, Les Echets, Lac Bouchet y las turberas del norte de Francia (Petite Wethe, Famechan), carecen de pólenes de árboles caducifolios hasta el Holoceno. Sin embargo, como la propia autora reconoce, esto no sucede ni con las secuencias pirenaicas (JALUT) ni con las del norte de España (Saldropo, Quintanar de la Sierra). En todas ellas *Corylus, Alnus, Ulmus* y *Quercus* están representados a lo largo de todos los estadios fríos (Dryas I-Dryas III) por porcentajes inferiores a un 1%. Esto es, lógicamente, algo que coincide con la presencia esporádica o a bajo nivel (menos de un 2%) de los mismos taxones en la práctica totalidad de yacimientos en cueva pirenaicos y cantábricos. La explicación puede venir dada por el hecho de que Grande Pile esté situada a 341 m sobre el nivel marino, 500 km al norte del área franco-pirenaica y a 500-850 km del Atlántico. Les Echets se encuentra a 450-800 km del mar, 325 km al norte y Lac Bouchet sólo a 175 km al norte, a 400-475 km del mar, pero a 1000 m de altitud en pleno Macizo de Velay. Quintanar de la Sierra se halla a 175 km del mar, al sur del área cantábrica y a 1.475 m de altitud. El lago pirenaico de Barbazan está a una altitud de 450 m y a unos 175 km de la costa; Biscaye a 409 m de altura y a 125 km de la costa; Estarres a 375 m de altura y a unos 100 km de la costa. Estas tres últimas se ubican en la vertiente norte del Pirineo.

De la comparación entre la serie pirenaica, la Cordillera Ibérica así como Saldropo y las turberas del norte, la ausencia en estas últimas de pólenes arbóreos decíduos templados es notoria. La pregunta obvia que deberíamos hacernos es, ¿dónde se ubicaba la línea geográfica de distribución latitudinal y altitudinal de estas especies?.

Para los períodos anteriores al interestadio Bölling-Alleröd es evidente que toda Europa estaba ocupada por ecosistemas desforestados. Parece obvio que los pólenes de *Quercus, Corylus, Alnus,* etc, ... están presentes en lagos y turberas meridionales. Sin embargo podrían producirse dos hechos a este respecto.

- El que estas especies no habitaran en el área, sino más bien hacia el sur, en cuyo caso su presencia se debería al transporte eólico de pólenes lejanos.

- Se trata de especies que ocupan el territorio, pero cuya distribución sería discontinua y escasa.

En el primer caso, como vimos en Groenlandia y las islas Shetland, la escasa capacidad de los ecosistemas presentes permitiría que otros ecosistemas con gran capacidad de producción polínica contaminasen sus registros. Para que este proceso se llevase a cabo sería necesario la existencia de áreas amplias con bosques densos de tipo caducifolio. Sin embargo estos bosques no parecen encontrarse en ninguna parte. Por otro lado, el hecho de que turberas y lagos capten pólenes lejanos es posible, pero que lo hagan cuevas que, como vimos, reflejan más la vegetación local y, además, en proporciones similares a los primeros es complicado de sostener. La segunda opción implica el porqué las especies termófilas presentes serían tan raras. En ocasiones se ha sostenido la conocida posibilidad de un área de refugio para las especies caducifolias en la zona franco-pirenaico-cantábrica. En este caso se plantearía otra pregunta sobre cuáles serían los elementos que limitan la presencia de tales plantas. Los árboles ven limitada su distribución por dos factores esenciales: un período vegetativo corto y poco intenso (pocos días por encima de 0°C y bajas temperaturas en el centro del verano) y/o la falta de agua. Las coníferas, como *Pinus sylvestris, Pinus mago, Pinus cembra* o *Juniperus communos,* y caducifolias, como *Betula pendula,* soportan los veranos cortos y frescos mejor que las especies termófilas, así como temperaturas más bajas en invierno.

Las especies precedentes son, en su mayor parte, resistentes a la sequía en mayor grado que las caducifolias típicas. No conocemos las temperaturas reales, ni el número de días con temperaturas inferiores a 0°C o superiores a 10°C en dichos períodos. Sabemos que eran fríos pero no cómo de fríos. Es evidente que, independientemente de las temperaturas o de su distribución a lo largo del año, tanto el pino como el abedul no estaban limitados por ella (nadie niega que estas dos especies habitaran en el área franco-cantábrica). Como estas especies no forman bosques se considera, con cierta lógica, que el límite para el desarrollo de estos era el balance hídrico. Las precipitaciones eran tan bajas que la evapotranspiración superficial en el centro del período vegetativo impedía la competencia de los árboles con arbustos y gramíneas. Efectivamente, casi todos los autores consideran a los estadios fríos en estas zonas como estépicos.

El pino silvestre es capaz de soportar veranos a una media de 12°C en el mes más cálido, 250 días con temperaturas inferiores a 0°C y un mínimo de 30 días con temperaturas superiores a 10°C. Es una especie que resiste bien las sequías estivales (crece de manera abierta en la estepa arbolada), siempre que el suelo no se seque totalmente en profundidad, y es capaz de sobrevivir a inviernos con -25°C en el mes más frío. Las caducifolias, como *Quercus pedunculata* o *Corylus avellanarius* soportan temperaturas de 15°C en el mes cálido, hasta 180 días por debajo de 0°C y temperaturas invernales de -14°C en el mes más frío.

Si el límite para el desarrollo de las caducifolias es el de las temperaturas sería difícil mantener su presencia polínica continua en áreas meridionales. Si su existencia dependía de las precipitaciones el problema sería totalmente diferente. En áreas de montaña las variaciones térmicas reales pueden variar de una manera muy acusada dependiendo de la exposición de un área. Una zona a la misma altura, situada en exposición norte-noroeste, puede ser tan fría como otra de la misma región geográfica expuesta al sur-sureste pero 200 m más alta. Al mismo tiempo, las precipitaciones unidas a una menor evapotranspiración superficial hacen de las áreas de umbría más húmedas, en general, que las de solana. Las diferencias de temperatura, dependiendo de la orientación del terreno, están sujetas a las condiciones climáticas globales y a la orografía del terreno. Conociendo ambos datos, estas diferencias son mensurables.

En el caso de la humedad del terreno, tenemos el dato de la falta de ecosistemas arbolados, con unas temperaturas que permitían la existencia de árboles. Evidentemente, incluso en los ecosistemas más secos, como los desiertos tropicales, la presencia de agua en cualquier punto permite el desarrollo de vegetación de alto porte (efecto oasis). En áreas frías y montañosas el efecto oasis repercutiría en todos los cursos de agua de bajo poder de arrastre y con efectos de estiaje limitados. Los grandes cursos de agua se verían afectados por las crecidas del des-

hielo y posteriormente por la presumible sequía estival. Los pequeños cauces, a mediana altitud, sufrirían menos debido al acusado carácter nivo-pluvial de sus cursos. Es perfectamente posible, y ningún dato puede demostrar categóricamente lo contrario, que estos favoreciesen el desarrollo de bosques y sotos ribereños. Si las temperaturas se mantenían en los estadios fríos (Dryas) por encima de los valores indicados para *Quercus, Corylus* y otras especies caducufolias, éstas serían los componentes básicos de dichas formaciones. Evidentemente estos bosques ribereños ocuparían un espacio porcentualmente mínimo, pero podrían producir el polen suficiente para que apareciesen en los registros de lagos y turberas, en cuyo caso se reflejarían de una manera porcentual muy baja así como en las cuevas, donde la proporción de los taxones caducifolios podría variar muchísimo dependiendo de la cercanía de cada yacimiento a la vegetación ribereña, de los vientos dominantes y de la actividad antrópica (la antracología ha demostrado que el ser humano utilizaba la madera de especies caducifolias como combustible y es probable su uso para otras actividades).

La presencia de un 33% de p.a. para los niveles VII, VI y V_d de la cueva de El Salitre implica la posibilidad de que el yacimiento se encontrase cerca de uno de esos bosquetes ribereños. Negar su pertenencia al interestadio Alleröd por la elevada tasa de polen de caducifolias termófilas es una opción posible pero no comprobable. La comparación con las secuencias de referencia europeas (Grande Pile, Les Echets,...), situadas muy al norte, lejos del mar o a gran altura no permite asegurar una comparación a ese nivel. Por otro lado, Quintanar de la Sierra está situada a gran altura y en área mediterránea. Pretender la posibilidad de reflejar con similitud cuantitativa las características porcentuales de los taxones presentes en la cornisa cantábrica sería pedir demasiado (la secuencia del Holoceno indica una preponderancia de las coníferas sobre las planifolias, exactamente inversa a las secuencias cantábricas).

El lago de Arreo parece indicar una diferencia para los períodos estadiales fríos y secos en las familias de plantas no arbóreas (escasez de plantas estépicas en Saldropo y Arreo, abundancia de Cichorioidae, Poaceae y Cyparaceae, inversa a la de Quintanar). Tanto en Saldropo como en Arreo y otras secuencias de niveles bajos no está claramente representada la sucesión Dryas antiguo → Bölling → Alleröd → Dryas III, sino sólo la sucesión Dryas III → Preboreal → Boreal →Atlántico. Ante la inexistencia de una secuencia de referencia regional para el Cantábrico, la utilización de secuencias de fuera del mismo área es discutible, al menos en los términos de precisión con los que se pretende trabajar.

Como se puede observar, las diferencias cualitativas entre los yacimientos cantábricos y las secuencias de referencia serían perfectamente explicables en términos de variación tanto climática, de una área a otra, como del tipo de matriz de sedimentación polínica. Las diferencias en el ámbito cuantitativo son sin embargo mucho más difíciles de sostener. Tanto en El Salitre (niveles VII, VI y V_d), en Berroberria (nivel D inferior) como en La Riera (niveles 21-27), las secuencias poseen un período de alto contenido en polen arbóreo. Tras él se produce una caída en la tasa de p.a. (niveles IV de El Salitre, D superior de Berroberria y 27-28 de La Riera), tras lo cual hay una nueva elevación de p.a. con una acusada presencia de avellano (niveles III de El Salitre y 29-30 de La Riera) o de pino (base del nivel C de Berroberria).

M.F. Sanchez Goñi supone que la secuencia se corresponde con Dryas III, Preboreal y Boreal. Sin embargo, todas las secuencias de referencia implican durante esta sucesión un aumento progresivo, pero constante, del p.a., sin caídas importantes. En el caso de La Riera, la secuencia 21-27 implica una sucesión *Juniperus, Betula, Pinus* idéntica a la de Quintanar de la Sierra para el Bölling-Alleröd. El incremento de *Juniperus* en la secuencia de este lago es muy alta para Bölling y muy escasa para el comienzo del Preboreal. De hecho la autora plantea que tras sostener la pertenencia de los niveles 21 a 23 al inicio del Preboreal, la presencia de *Rangifer* le obligó a reconsiderar la postura. Sin embargo, continúa sosteniendo la pertenencia de los niveles 24 a 27 al Preboreal, basándose en una posible discordancia de carácter erosivo entre los niveles 23 y 24.

El caso del análisis de Zatoya es más sorprendente ya que mantiene que la base del nivel II_b sería el fin de Alleröd y su parte superior Dryas III, basándose en la reducción del p.a. de un 30% a un 10% y la desaparición en el techo del nivel de *Quercus* y *Alnus.* Esta postura está en abierta contradicción con los presupuestos metodológicos de la propia autora, que considera que una reducción en p.a. de ese tenor, junto a la aparición esporádica de taxones termófilos en ambientes herbáceos, no permite sostener cambios ambientales.

No pretendemos en ningún caso entrar a valorar la asignación de las culturas del Tardiglacial derivada del trabajo de M.F. Sanchez Goñi, pues en principio no cae dentro de los objetivos de este trabajo, pero sí debemos señalar que buena parte de sus argumentos se ayudan de dataciones de C^{14} y atribuciones culturales, en contradicción con la pretendida intención de derivar las secuencias cronológicas únicamente de las zonaciones polínicas. Tampoco pretendemos infravalorar el trabajo completo de la autora, que en lo que se refiere a la imposibilidad de valorar

cambios ambientales a partir de pequeñas variaciones del p.a. y la presencia de pólenes de taxones termófilos, nos parece bastante correcta. Sólo se intenta poner de manifiesto tres carencias esenciales del análisis palinológico realizado por estos autores.

a. Las secuencias de referencia no pueden ser extrapoladas de áreas geográficas distantes y que quizá en la actualidad compartan ecosistemas similares, pero que es perfectamente probable que esto no sucediese en el pasado.

b. Las secuencias de lagos y turberas son, por definición, diferentes de las secuencias en cueva. Las primeras son de ámbito global y para períodos estadiales pueden estar contaminadas por pólenes de lugares distantes, que pueden dar a su aspecto externo una homogeneidad de la que las áreas donde se asientan carecían. Las cuevas, por su parte, reflejan un ambiente local por lo que los porcentajes de los distintos taxones pueden variar tanto cualitativa como cuantitativamente.

c. Las secuencias polínicas no reflejan los ecosistemas del pasado, como mucho pueden reflejar paisajes vegetales e incluso esto puede ser difícil de interpretar si se carece de taxones exclusivos de áreas geográficas y climáticas concretas (por ejemplo, Grande Pile en el período de Dryas I puede ser interpretado como una tundra periglacial muy seca, con los pólenes arbóreos de origen exógeno o una estepa arbolada. Ecosistemas muy diferentes entre sí en sus biomasas totales, productividad primaria neta, período de acceso a los recursos del suelo, duración de la capa de nieve o hielo, etc...)

Todo ello, teniendo en cuenta que la imposibilidad de cuantificar los datos climáticos no nos permite realmente hacer ni siquiera una deducción climática simple (por ejemplo en ambientes de estepa arbolada, una reducción de la temperatura en el mes más cálido, número de días con temperaturas inferiores a 0°C y número de días con temperaturas superiores a 10ºC, produciría una reducción de la evapotranspiración superficial. Esto podría originar un aumento de la vegetación arbórea, *Pinus* y *Betula,* y producir un aumento del polen arbóreo que sin embargo suele ser interpretado como un atemperamiento climático). Ello debe inducirnos a pensar que se ha de ser cauto y considerar que los análisis polínicos sólo permiten un acercamiento indirecto e incompleto a las variaciones climáticas del pasado.

3. Los análisis faunísticos.

Los análisis que se aplican a los restos de faunas posiblemente estén en el origen de buena parte de los estudios paleoclimáticos, como los estudios de la segunda mitad del siglo pasado realizados por LARTET, GERVAIS y GAUDRY, que diferenciaron la Prehistoria reciente europea en la *Edad del Elefante Antiguo, Edad del Mamut* y *Edad del Reno.* Estas divisiones con claras implicaciones climáticas tenían un valor fundamentalmente cronológico y fueron en buena medida responsables de que la arqueología prehistórica y la paleontología hayan caminado desde entonces de la mano.

Un siglo más tarde, la situación de la paleontología prehistórica no puede decirse que haya mejorado. Citábamos en el capítulo dedicado a los estudios polínicos la obra *Reconstucting Quaternary Environments.* En ella sus autores, LOWE y WALKER, consideraban enormemente importante los estudios del polen y le dedican el capítulo 4, *Biological Evidences,* con una introducción de una sola página tras la que dedican otras diez, que ellos mismos consideran insuficientes, al análisis polínico y siete a la antracología. Los vertebrados se quedan para el final con sólo cinco páginas, con el llamativo epígrafe *Restos de vertebrados.* En éste, dedican una cierta amplitud a la *fosilización y conservación de dientes y huesos,* a las *técnicas de campo y de laboratorio,* así como a la *tafonomía de los conjuntos de vertebrados fósiles.* En la última página, titulada *Fósiles vertebrados y ambientes cuaternarios,* los autores refieren brevemente, en dos párrafos, las características ecológicas de los vertebrados y su utilización como marcadores climáticos. El único ejemplo es el de la tortuga de laguna, *Emys orbichloris,* presente durante el último interglaciar en Inglaterra y limitada en la actualidad al ámbito mediterráneo. Los autores concluyen diciendo que la presencia de esta especie "sugiere con fuerza" la existencia durante el interglacial (Ipswichian) de condiciones más cálidas que las actuales, *"una hipótesis sostenida por las evidencias palinológicas y de los análisis de coleópteros".* El resto del artículo, sin embargo, desgrana una serie de razones por las cuales los intentos de reconstruir los climas del pasado a través de asociaciones faunísticas es cuando menos peligrosa (LOWE y WALKER 1997).

Evidentemente y aunque la mayoría de los autores no lo digan explícitamente, el problema fundamental de los análisis faunísticos es la inexistencia de una secuencia global de referencia. Los vertebrados del Paleolítico europeo no tienen una "Grande Pile" que permita una correlación con los niveles, necesariamente parciales, de los yacimientos. Con el fin de intentar comprender las limitaciones de los análisis faunísticos, así como los intentos de superarlos, hemos dividido el estudio en una serie de apartados.

a. *Límites de los análisis faunísticos.*

- Evolución genética: Es evidente que para comparar una población de animales en la actualidad con un conjunto de restos antiguos debemos estar segu-

ros de que las especies sean semejantes en tal grado que sus capacidades y necesidades sean basicamente iguales. La paleontología permite reconocer variaciones en las formas, dimensiones y peso de los huesos, lo que daría como resultado una tasa de variación por unidad de tiempo, desde la actualidad hasta un punto en que los restos encontrados no se parezcan practicamente en nada a los animales actuales.

Se ha situado por parte de algunos investigadores (KURTEN 1968) que la tasa de variación para el Pleistoceno sería de un 11% cada 200.000 años, con una longevidad media de las especies como tales de 3 millones de años. Durante el penúltimo ciclo interglacial hasta el fin del Würm, las fuertes variaciones climáticas aceleraron la tasa de evolución que se situó en torno a un 6% cada 75.000 años, reduciéndose la duración de las especies a 1,6 millones de años. Cuanto más antiguo sea un conjunto faunístico mayor será el número de especies extintas que lo componen. Las especies extinguidas no pueden compararse fácilmente con las especies modernas, puesto que aunque filogenéticamente sean parecidas no tienen porqué coincidir sus respectivos ambientes. Tampoco es fácil asignar un determinado ambiente a una especie a partir de los datos paleoambientales ya que la tendencia a los argumentos circulares es evidente.

Un problema más grave es la relación entre el cambio genético y las variaciones en las necesidades ambientales. Un cambio en las formas físicas mensurable no tiene por qué implicar que la especie varíe el ambiente en el que vive. De hecho, una especie no está adaptada al ambiente en el que vive sino al ambiente en el que ha vivido de manera predominante durante un larguísimo período de tiempo. Inversamente, un ambiente puede variar sin que la especie tenga tiempo para transformaciones genéticas importantes y sin que desaparezca.

Conforme los conjuntos arqueofaunísticos son más antiguos el grado de comparación con los actuales desciende tanto por la reducción de la relación filética como al aumento en la presencia de especies extintas. Uniendo lo anterior a la dificultad para asignar una relación entre la variación ambiental y la genética, resulta por lo tanto arriesgado hablar de reconstrucciones ambientales en épocas muy antiguas.

En tiempos más recientes y, fundamentalmente, desde el último interglacial Riss-Würm, las variaciones en las características de las especies han sido mínimas. Es posible sostener que las capacidades y necesidades de las mismas no han variado esencialmente con respecto a las actuales.

- Grado de relación entre ambiente, clima, ecosistema, biotopo y especie: Una de las ideas más arraigadas en la paleontología es la de que las especies, o por lo menos ciertas especies, sean buenos indicadores climáticos. Ejemplo de ello lo tenemos en los ungulados, como el reno o el antílope caiga, indicadores de ecosistemas de tundra y bosque boreal el primero y de estepa y subdesierto frío el segundo. Estas concepciones han dado como resultado una visión bastante simplista de las relaciones de tipo climático. La simple presencia de reno implicaba un clima frío o la de saiga un clima seco, hechos que no sólo son poco precisos sino que incluso pudieran ser en ocasiones falsos. En época más reciente se puso en cuestión la capacidad de las asociaciones faunísticas reconocidas para ser comparadas con las actuales.

F. POPLIN (1979) llama la atención sobre el hecho de que en los yacimientos del Tardiglacial europeo y, por extensión, en períodos fríos del Würm, encontremos asociaciones faunísticas tan extrañas como ciervo, reno y saiga. La repetición en ciertas áreas de estas asociaciones difícilmente pueden explicarse si las especies en cuestión no cohabitaran en el mismo área. Como dichas asociaciones son inexistentes actualmente, POPLIN acaba concluyendo que toda comparación directa es imposible.

Las condiciones climáticas posteriores al Pleistoceno medio son diferentes a las actuales. No sólo a una misma latitud las temperaturas y precipitaciones son inferiores sino que la evapotranspiración superficial debía ser distinta, puesto que el grado de incidencia solar y la relación día/noche con el paso de las estaciones es diferente a las de las zonas boreales actuales.

POPLIN considera la posibilidad de un cambio del comportamiento de los animales con respecto a la variación de los ambientes. Los animales son idénticos a los actuales pero, debido a la diferente composición de la vegetación, sus límites en la elección de hábitats eran distintos. Este hecho ya había sido advertido por ZEUNER, que consideraba que los límites actuales de la distribución de las especies sólo estaba determinado secundariamente por los parámetros climáticos. El elemento esencial de la distribución actual de los ungulados era la vegetación (POPLIN 1979). Si la vegetación cambiaba, los límites de distribución y con ellos los parámetros climáticos que limitaban la distribución de las especies variarían. El autor terminaba considerando que los límites actuales de distribución de las especies no puede ser extrapolado a los conjuntos faunísticos del Cuaternario. Una segunda posibilidad es que los animales de este período fuesen altamente móviles (evidentemente, ciertas especies, como el saiga y el reno, lo son en la actualidad), por lo que la posibilidad de que un conjunto faunístico del Pleistoceno superior no indicaría los

animales "presentes" de carácter sedentario, sino "divagantes" en determinadas épocas del año debía tenerse en cuenta.

En su obra *Les faunes du Paléolothique supérieur dans le Sud-Ouest de la France,* F. DELPECH intenta dar respuesta a la pregunta de si el reno llevaba a cabo grandes migraciones estacionales. Esta investigadora considera que ello es posible aunque no se ha probado (DELPECH 1983). La hipótesis de las migraciones sólo sería sostenible si no hubiese una opción alternativa. Ésta pudiera ser la diversidad de biotopos existente en el área del Perigord (Dordogne), planteamiento que puede sostenerse con una lógica idéntica para los Pirineos y el Cantábrico. La variedad de tipos de vegetación permitiría no sólo que los movimientos de los renos hubieran sido de corto radio de acción sino que además permitirían explicar las asociaciones de faunas existentes. POPLIN, sin embargo, considera que esto podría ser válido para los ungulados, o al menos para algunos de ellos, pero la "mezcla" de restos de micromamíferos de diferentes ecosistemas no puede explicarse por el mismo procedimiento.

Una última cuestión es el grado representatividad que poseen las faunas actuales de la zona Holártica con respecto a un ambiente natural. Toda la zona Holártica europea, la americana (Neártica) y buena parte de la asiática están profundamente antropizadas. La distribución de las especies en la actualidad puede no coincidir con la que tendrían si no tuvieran que competir con los seres humanos, sus cultivos y sus animales domésticos. Las fuentes históricas parecen indicar que la distribución límite de ciertas especies era más amplia que la actual, por no hablar de otras extinguidas por su propia mano y obra, como el uro o el bisonte, que aparecen bien documentadas en crónicas de siglos pasados. El hecho de que aún en tiempos recientes (siglos XVIII y XIX) las temperaturas hayan variado hace que el problema sea aún más complejo. La conclusión que se puede extraer de todo lo anterior es que la relación entre una determinada especie y un ecosistema, biotopo o a unos parámetros climáticos determinados es, incluso en la actualidad, difícil de evaluar. Por ello todo intento de reconstrucción climática que no tenga en cuenta estas posibles variaciones invalidaría el análisis.

- Grado de representatividad de los conjuntos arqueofaunísticos y los ambientes que los produjeron: uno de los problemas más intensamente estudiados en paleontología es la forma en que los restos óseos terminan en un yacimiento, cuestión que ha ido encontrando soluciones gracias al desarrollo de disciplinas como la tafonomía. Los restos de fauna encontrados en un yacimiento arqueológico proceden, por lo general, de los alrededores del mismo, pero la distancia y la selección que los distintos agentes postdeposicionales realizan sobre los existentes puede variar.

Los aportes producidos por factores físicos son muy diversos y dependen mucho de las características del yacimiento. En los yacimientos al aire libre los más comunes son los aporte hídricos. En principio, sólo en el caso de un animal recientemente muerto que flota en el agua permite el transporte íntegro del esqueleto. En el caso de arrastre de animales en descomposición o esqueletizados, éste será selectivo. Los restos de animales de menor talla y los pequeños huesos o fragmentos de animales mayores podrán ser arrastrados a una mayor distancia. El tamaño de los restos coincide a grandes rasgos con la granulometría media del sedimento. Los restos encontrados en un yacimiento actual, formado por arrastre hídrico, coincidirá con las características deposicionales en ese punto y raramente reflejará el número de especies o los porcentajes con que estos aparecen respecto a las faunas realmente existentes.

En el caso de simas y, en menor medida, en cuevas y abrigos, la gravedad es uno de los elementos esenciales. Los yacimientos paleontológicos en simas representan o bien a animales atrapados en su interior o a restos transportados por el agua y/o caídos por gravedad. En estos casos, la muestra con respecto a la fauna existente es totalmente aleatoria.

- Las acumulaciones en cueva se deben a tres factores. Bien por muerte del animal en el yacimiento, captura y transporte total o parcial por un predador, o bien recogida y transporte de los restos de un animal ya muerto. En el primer caso, sólo aquellos animales que acostumbran a utilizar cuevas y abrigos como residencia, refugio, lugar de parto o lugar de hibernación estarían representados de manera habitual. En el segundo caso, el conjunto de restos dependerá de las preferencias del predador o predadores causantes del mismo. En el tercero, los necrófagos como osos o hienas, tienen tendencia a recoger los restos de cualquier animal consumible que encuentren a su paso. Las acumulaciones debidas a hienas deberían, en principio, representar relativamente bien las faunas circundantes. Sin embargo, estos animales deterioran los restos óseos en grados variables y de manera diferencial. Los huesos pequeños son destruidos por lo general, mientras que los de mayor tamaño pueden quedar tan deteriorados que sean imposible de reconocer. Pero más grave aún es que todas las especies con hábitos necrófagos son también predadoras en mayor o menor medida. Esto no sólo es cierto para las distintas especies sino que varia dependiendo de las circunstan-

cias ambientales en cada especie. De esta manera, las hienas son cazadores activos en ciertas áreas mientras en otra apenas cazan. Una misma comunidad puede variar su relación predación/necrofagia a lo largo de las estaciones.

En las acumulaciones de micromamíferos las aves nocturnas son consideradas como los principales vectores de acumulación, aunque no los únicos. Las especies más corrientes durante los períodos würmienses son: el búho real, la lechuza común, el mochuelo y el búho nival (éste último en ciertas áreas durante períodos estadiales). El búho chico y el carabo son extremadamente raros y las especies boreales (carabo uralense y lapón, lechuza gavilana) y esteparios (lechuza campestre) están virtualmente ausentes. Los búhos reales capturan un amplísimo espectro de presas tanto de zonas abiertas como de bosque, desde roedores de tamaño medio (lirones, ardillas, ratas de agua, etc...), lepóridos (liebres y conejos), aves (córvidos preferentemente) e incluso predadores de pequeño tamaño, tanto aéreos como terrestres. La lechuza, sin embargo, captura roedores pequeños, con una elevadísima proporción de los géneros *Apodemus* y *Mus.* Por su parte, el mochuelo consume pequeños roedores, musarañas, reptiles y anfibios, así como un gran número de insectos. Estas dos últimas especies son esencialmente cazadoras de áreas abiertas, lo que daría una cierta tendencia a sobre-representar las especies de roedores cuyos biotopos son desarbolados. Las rapaces nocturnas que cazan en áreas de bosque, como el carabo y las especies boreales citadas, así como el búho chico, raramente o nunca utilizan rocas para descanso o refugio. La presencia de estas especies en cuevas podría deberse a la predación que sobre ellas ejerce el búho real.

Los conjuntos faunísticos creados por el hombre durante el último glacial han sido intensamente estudiados. En general, se supone que las asociaciones con alto contenido de predadores y necrófagos, un elevado número de especies de herbívoros sin que ninguno de ellos predomine y escasos restos de material lítico implica una acumulación de origen no antrópico. Por otra parte, los conjuntos con un bajo número de predadores, con un elevado contenido de ungulados, en ocasiones con un claro predominio de una sola especie, y gran número de restos líticos así como restos de otras actividades antrópicas, son producto de la predación humana. En este caso, el principal problema es el índice en el que las especies presentes en un área han sido capturadas por el hombre. Si el hombre caza preferentemente una especie, es evidente que ésta debería ser abundante, pero ¿en qué proporción? y ¿en qué momento del año?.

Una especie podría haber sido capturada en una proporción mayor de la que ella misma estaría representada en la naturaleza, bien por preferencias alimenticias, bien por necesidad de ciertas materias primas (astas, piel...), o bien porque, por alguna razón, era más fácil de capturar que las demás. Una especie puede no ser abundante en un área, incluso puede ser extremadamente rara, sin embargo, si la especie tiene comportamientos de tipo migratorio pudiendo pasar por un lugar o lugares concretos, momento en los que sería cazada. Estos factores hacen muy difícil calibrar la relación porcentual entre restos y fauna viva a partir de los conjuntos arqueofaunísticos de los yacimientos arqueológicos.

Una vez abandonados sobre el terreno, un hueso tarda relativamente poco tiempo en desaparecer. Las alternancias de lluvia e insolación, temperatura, agentes químicos, etc..., lo destruyen en unos pocos años. La preservación de un resto óseo depende en gran medida de la velocidad con que se recubre y las características físico-químicas del sedimento que lo envuelve. En general se suele considerar las cavidades calizas como lugares en los que el material óseo se conserva en bastante buen estado debido a la rapidez del enterramiento, su *pH* intermedio y el carácter fuertemente calcáreo de los sedimentos que aceleran el proceso de fosilización. Las temperaturas relativamente estables de las cuevas, la inexistencia de exposición al sol y otros fenómenos meteorológicos, mas la elevada humedad aumentan enormemente el tiempo que un hueso sobrevive en superficie. Evidentemente, es poco probable que la totalidad de los restos óseos generados por el hombre, por ejemplo durante el Tardiglacial, se hayan conservado.

Los investigadores deben de tener en cuenta, en primer lugar, que la muestra que estudian es una parte infinitesimal del conjunto de restos generados y, por lo tanto, desde un punto de vista estadístico podría ser una muestra poco representativa. En los abrigos la situación es bastante peor. Los abrigos son lugares abiertos. Los que son utilizados como refugios, como los que se encuentran en el sur de Francia, están expuestos al sur y por lo tanto reciben una gran insolación. Los restos óseos deberían cubrirse rápidamente antes de desaparecer y por desgracia el índice de sedimentación difícilmente sería tan rápido como para cubrir todos los restos generados en menos de dos años.

El arqueólogo y todo aquel que intente reconstruir un clima a partir de conjuntos faunísticos debe considerar que la totalidad de las muestras de paleofauna son, en primer lugar, estadísticamente poco representativas, en segundo, porcentualmente sesgadas y muy probablemente incompletas, y por último, la complejidad en la formación de cada conjunto hace muy difícil corregir estos errores.

La periodización de las sucesiones faunísticas durante el Pleistoceno se ha encontrado con dos problemas practicamente insuperables. Las secuencias más antiguas se han realizado a partir de la presencia de determinadas especies o grupos de especies consideradas como fósiles-guía. Por desgracia estas especies son en su práctica totalidad fósiles. Las inferencias de tipo cronológico no pueden ser extrapoladas al ámbito del estudio medioambiental. Si ya es complicado, como vimos anteriormente, comparar las condiciones actuales en las que viven las especies con esas mismas durante el período glacial, intentarlo con especies extintas es verdaderamente arriesgado. Respecto a las especies no extinguidas surge el segundo gran problema: su distribución no es homogénea y presenta fuertes variaciones regionales, tanto en la presencia de algunas de ellas como en variaciones porcentuales.

Un ejemplo de ello lo tenemos en las secuencias regionales para el suroeste francés (DELPECH 1983), o los del Cantábrico (ALTUNA 1972, 1992, 1995). Estas secuencias indican que ni las especies ni las relaciones porcentuales entre ellas coincidían. En ocasiones la falta de coincidencia se producía a nivel local e incluso entre yacimientos cercanos y relativamente contemporáneos.

En líneas generales y para los grandes mamíferos, las especies boreales y esteparias estarían fuera de las áreas mediterráneas y las especies de bosque (ciervo, corzo o jabalí) no aparecían en secuencias del norte de Europa hasta épocas tardías del Tardiglacial. Descendiendo en los detalles, el reno, muy abundante en el Perigord, no lo es tanto en la Gironde y es muy escaso en el Cantábrico. La pregunta sería ¿qué diferencias pueden existir entre estos tres territorios?. Evidentemente, las Landas podrían ser muy secas (se da la presencia de saiga) para el reno, mientras la diferente topografía de la región cantábrica, muy montañosa, y el Perigord podrían explicarlo. Sin embargo el autor se pregunta por qué en la Dordogne el reno es tan abundante y no lo es en Lot o en el curso medio del Loira, territorio éste último más al norte y, por lo tanto, más frío y con un relieve totalmente llano. El antílope saiga es otro ejemplo. Esta especie está presente en el occidente europeo desde las Landas, Gironde, donde es relativamente abundante, hasta el sur de Inglaterra (en el yacimiento de Gough's Cave), aquí ya muy escaso. La especie es practicamente inexistente al sur de los Pirineos. Esta barrera y el ya citado carácter montañoso del área cantábrica sería una explicación plausible, pero estando presente la saiga en la Provenza, ¿por qué no aparece en Cataluña o en el Valle del Ebro?. Las dificultades orográficas de paso entre la Provenza y las áreas llanas de Cataluña no pueden ser muy diferentes que las que existen entre las Landas y la Provenza.

Las dificultades de periodización con ungulados han intentado ser salvadas a través del estudio de los micromamíferos. J. CHALINE intentó una periodización (CHALINE 1972) a partir de los roedores y más recientemente J.-C. MARQUET realizó una secuencia de presencia/ausencia de especies, correlacionada con el diagrama polínico de Grande Pile (MARQUET 1989). El sincronismo sólo podía ser esquemático y, por otro lado como el mismo autor indica, sólo es válido al norte de los Pirineos y, por extensión, al norte del área mediterránea. Si tenemos en cuenta que este esquema es una reconstrucción que no parte de un yacimiento concreto y sólo es válido para ciertas áreas, es lógico que su valor sea sólo muy relativo como guía para otros yacimientos.

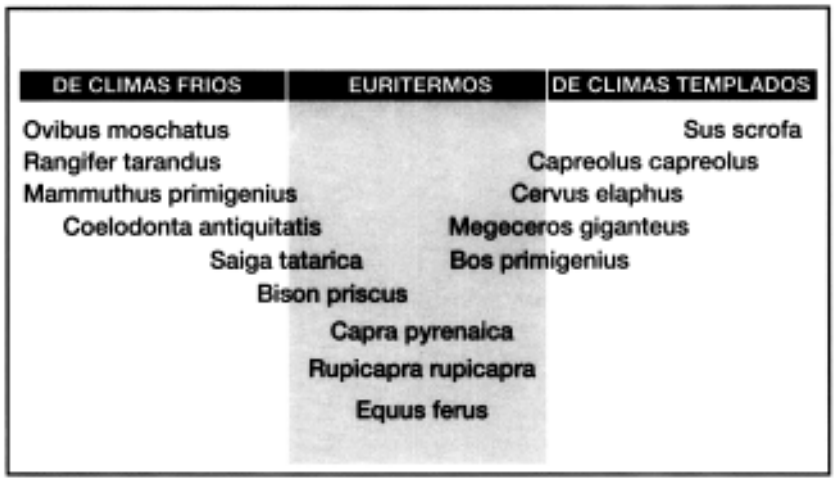
La conclusión más lógica es que los análisis faunísticos son un sistema que posee actualmente fuertes limitaciones a la hora de intentar definir, a partir de restos, las especies y densidades de cada una de ellas en un lugar determinado. La parcialidad en cuanto a la formación de los conjuntos arqueofaunísticos, las alteraciones postdeposicionales, la imposibilidad de asignar con precisión un clima, un ambiente o un conjunto de parámetros climáticos a una especie y la existencia de secuencias globales contrastables han hecho perder buena parte de su crédito a la paleontología en el terreno de la reconstrucción climática, algo que incluso algunos especialistas de prestigio no dudan en admitir (ALTUNA 1995).

b. Métodos de análisis.

Durante mucho tiempo se han utilizado una serie de métodos que indicarían las variaciones climáticas a partir de los restos de fauna. A pesar de lo dicho en el capítulo anterior pero teniéndolo siempre en cuenta, pensamos que sería interesante analizar los métodos más comunes. Estos podrían dividirse, grosso modo, en métodos porcentuales y métodos cuantitativos.

Los primeros pretenden definir un ambiente o un clima de manera nominal. Los segundos pretenden hacerlo de manera cuantitativa. Es posible que en este somero análisis no estén todos los sistemas empleados, pero sí al menos los suficientes para conocer las líneas principales de análisis utilizados hasta ahora.

- Sistemas porcentuales: el método porcentual directo es, en principio, el más claro, simple y subjetivo, pero también el más obvio de todos. Se puede decir que, independientemente de que se utilicen métodos supuestamente más precisos, este sistema es casi previo a todos los demás. No existe ningún investigador que intente una reconstrucción ambiental a partir de un conjunto de restos, que al mirar la



Tab. 8. Distribución climática de los ungulados europeos durante el Würm IV (ALTUNA 1995).

lista de especies y su abundancia relativa no tenga una idea "climática" de con qué se está enfrentando.

El sistema se ha perfeccionando de manera progresiva mediante la creación de tablas en las que se clasifica a los animales según sus preferencias climáticas generales (tabla 8).

En cada yacimiento se estudian el número de restos identificables de cada especie y/o el número mínimo de individuos. Las variaciones en la composición, presencia o ausencia de determinadas especies, y en los porcentajes de especies climáticamente significativas se interpretan como posibles variaciones climáticas. Es evidente que este sistema es, cuando menos, tremendamente impreciso. La variación significativa y la ausencia y/o presencia de determinadas especies en muchos yacimientos de áreas muy amplias puede ser interpretada como una variación climática (en el transcurso del Würm final al Holoceno en el área franco-cantábrica se produce un espectacular aumento de corzo y jabalí y una práctica desaparición de las especies árticas, boreales y esteparias, lo que lógicamente implica un aumento, tanto de las temperaturas como de las precipitaciones).

El problema comienza cuando las variaciones porcentuales son pequeñas entre las mismas especies o se producen ausencias o variaciones significativas, pero estas sólo afectan a áreas muy pequeñas o incluso a yacimientos concretos. Si tenemos en cuenta que las pequeñas variaciones porcentuales entre diferentes especies pueden ser producto de diferentes procesos: variaciones de alea estadística (es imposible que los restos de diferentes niveles de un yacimiento sean idénticos aun cuando no haya ninguna variación climática), diferencias tanto en la acumulación como en la conservación de restos, etc... La posibilidad de inferir variaciones climáticas es muy dudosa.

Uno de los métodos porcentuales cuantitativos utilizados recientemente es el *Método de Correlación de PEARSON.* El método es empleado por K.V. BOYLE para intentar solventar dos de los problemas básicos de los conjuntos faunísticos del Paleolítico superior en el suroeste francés: los conjuntos con especies, de manera aparente, no compatibles ecológicamente y la atribución ecológica de dichos conjuntos. De una manera muy sucinta, el método de correlación de PEARSON es un modelo matemático que permite cuantificar la relación de frecuencias porcentuales entre dos conjuntos de datos aparecidos en una serie de casos, en este caso restos de especies animales entre sí y especies animales con respecto a parámetros climáticos. El resultado es una cifra inferior a la unidad. Si es elevada (superior a 0,5) implica una correlación positiva. Si es baja, la correlación es negativa y si lo es inferior a 0,1 insignificante. Este sistema también puede utilizarse comparando a cada especie con un conjunto de factores climáticos que determinan un ecosistema dado, el grado y duración de la cobertura de nieve, temperatura, humedad, etc... Una correlación alta de una determinada especie con un conjunto de factores climáticos indicaría una alta probabilidad de que el animal viviera efectivamente en ese ecosistema.

La aplicación de este método a las distintas asociaciones faunísticas reconocidas en el suroeste francés permitiría, en primer lugar, definir qué especies de un conjunto serían cohabitantes en un territorio (alto índice de correlación). Pero siendo una de las especies rara (bajo índice de correlación), o si tuviera un índice insignificante, la especie posiblemente no estaría presente, siendo sus restos producto de deposiciones antrópicas en áreas alejadas de su hábitat real.

Las distintas especies son posteriormente correlacionadas con una serie de factores climáticos correspondientes a ecosistemas concretos, bosques,

bosques de montaña, prados de montaña, matorrales, estepa fría, tierras de pastos y tundra. La correlación de las especies con estos parámetros refleja un índice de correlación positivo, negativo o insignificante con uno de estos ambientes. Partiendo de dichos datos, se introducen estos en un análisis de Cluster que nos permita conocer el grado de relación de las correlaciones de las especies con un ambiente por pares de proximidad. Si el diagrama indica una elevada proximidad ambiental entre especies que poseían una correlación positiva (cohabitantes) en una misma área, podríamos asignar a ésta un ambiente.

Este sistema es en el fondo un modelo porcentual, ya que su base es la correlación entre el número de individuos reconocibles en cada nivel de un yacimiento. Su valor, sin embargo, es limitado fundamentalmente por dos razones. En primer lugar, los coeficientes de correlación sólo indican el grado de relación porcentual entre restos, no el volumen de la biomasa o el número de individuos de una especie presentes en una área, como ya vimos al mostrar los límites de la representatividad de los conjuntos faunísticos. Para que el método tuviera algún sentido las especies tendrían lógicamente que ser sedentarias en una zona concreta. La propia investigadora reconoce que la posibilidad de migraciones o movimientos estacionales complicaría la relación porcentual entre restos y animales presentes. Esta es la razón por la que ella emplea 12 páginas de su obra intentando demostrar que no se ha probado la existencia de migraciones estacionales del reno para este período, aunque hacemos notar que el no probar una cosa no significa que ésta sea falsa. Ni siquiera la idea mantenida de que una correlación muy baja entre dos especies no tiene que indicar necesariamente que los restos óseos hayan sido transportados al lugar por el hombre. Evidentemente esto es una posibilidad. La otra es que la especie viva en el mismo lugar en densidades bajas, con lo que la frecuencia de encuentros con el ser humano sea también baja y además no muestre un especial interés en la misma. Todo ello sub-representaría la especie rara mientras que las abundantes y apreciadas tenderían a estar sobre-representadas. Evidentemente, cuando un hecho (baja concentración porcentual de restos de una especie en un área) puede ser explicado por dos posibilidades, ninguna de ellas posee un índice mínimo de certeza.

Los problemas anteriores solo implicarían variaciones que podrían corregir parcialmente las conclusiones vertidas por K.V. BOYLE. El segundo problema es más grave. La atribución de determinados ambientes a los ungulados actuales es tremendamente peligrosa, puesto que podría ser falsa. En las conclusiones que pueden apreciarse en el mapa (figura 21), se pueden observar los diferentes ambientes propuestos como conclusión por BOYLE.

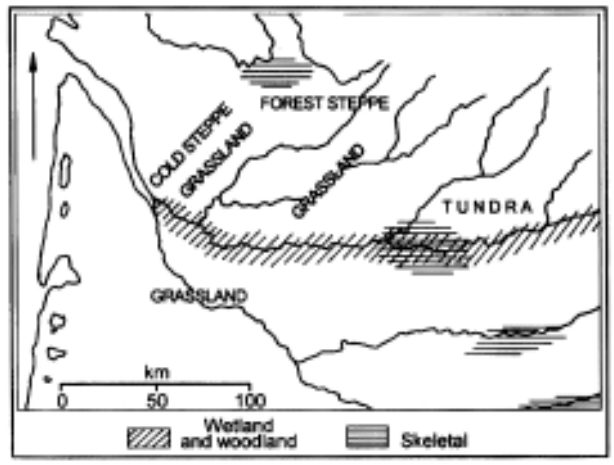


Fig. 21. Tipos de paisaje en el suroeste de Francia durante el Paleolítico superior (BOYLE 1990).

La autora considera que durante el Paleolítico superior, y en sus fases frías, el área situada entre el río Dordogne y su afluente, el Vézère, era una tundra húmeda, con influencia oceánica. La región ubicada al norte del estuario del río Gironde es una tierra de pastos bajo la forma de una estepa fría, y la región situada al N-NE, entre el Dronne, el Isle y el Nizan, una estepa forestal. La atribución es bastante obvia a partir de la abundancia de determinados ungulados. La zona del Vézère-Dordogne es el área donde los restos de reno (en multitud de yacimientos) alcanza tasas normalmente superiores al 90% de restos identificables. El área al norte del Gironde es característica por la existencia de varios yacimientos con abundantes restos del antílope saiga (como los yacimientos de Bisqueytan y Roc de Marcamps), (DELPECH 1983), presentes en el 85% de los yacimientos de la Gironde hasta la desembocadura del Isle.

Durante el Magdaleniense superior y, en general, durante todo el período, caballos y bóvidos son abundantes en los territorios adyacentes a la zona anterior. Finalmente, el ciervo sólo es abundante en la zona atribuida por la autora a la estepa forestal (esto es cierto para el Magdaleniense, en el Aziliense el ciervo alcanza sus máximos valores en la Dordogne así como el reno o los bóvidos, e incluso en menor proporción el caballo y la cabra). La autora parte del principio de atribuir a cada ambiente su particular tipo de ungulado. Ella propone las siguientes "zonas ambientales" (BOYLE 1990):

1. NO FORESTALES.

(a) Estepa: caballo, bisonte, saiga (estepa occidental fría y seca). Espacios abiertos de pastos, salpicados de árboles aislados (bosque de estepa).

(b) Tundra: reno, liebre, zorro ártico, leming, ¿bisonte?. (Cubierta vegetal de pradera ártica o alpina. Tundra oceánica húmeda).

2. FORESTALES.

(a) Taiga: especies de tundra con alce y ciervo. Cubierta arbórea densa (coníferas).

(b) Bosque deciduo: restos de elementos de fauna de taiga, junto a especies de baja resistencia al frío y a la aridez, p. e. jabalí, corzo, *Bos* sp.

3. HUMEDALES. Jabalí, corzo. Orillas de ríos y pantanos/ciénagas.

4. ROQUEDO. Especies de montaña (cabra, rebeco) en paredes rocosas etc.

El reno es una especie de tundra y de taiga. No existían bosques de coníferas en el área como lo indica la palinología, por lo tanto el área es tundroide con influencia oceánica. La saiga es una especie exclusivamente esteparia, luego debería ser este el ambiente en el que se movía. Como caballos y bisontes son considerados como especies de praderas, éstas rodearían la estepa fría. Por último, allí donde el ciervo es abundante debería existir un bosque de coníferas o un bosque deciduo. Al no haberlo, el área debía ser una estepa forestal, donde especies como el caballo, saiga, jabalí o reno podrían aparecer (en los coeficientes de correlación del área estas especies parecen cohabitar).

Las estepas forestales actuales se desarrollan en climas en los que los días con temperaturas medias inferiores a 0º C oscilan entre 150-190 días/año. El número de días con temperaturas superiores a 10ºC van de 110 a 140. La temperatura en el mes más cálido ronda, con diferencias de un grado, los 18ºC, y las precipitaciones oscilan entre 350-450 cm^3 anuales. En temperaturas inferiores a -16°C en el mes más frío es difícil encontrar árboles caducifolios *(Quercus, Corylus, Ulmus, Alnus),* pero con los parámetros anteriores y una temperatura en invierno por encima de esos -16°C pueden ser encontrados en áreas húmedas, como arroyos y orillas de lagos y ríos.

Una tundra debe tener una característica esencial para ser considerada como tal. Las temperaturas son tan bajas que no permiten el crecimiento de los árboles. Las tundras actuales se mantienen sólo donde el número de días al año con temperaturas inferiores a 0°C son superiores a 240 y la temperatura media en el mes más cálido es inferior a 12°C. Los días con temperaturas superiores a 10°C son menos de 50 al año. Ello significa que en un área que dista menos de 200 km a medio grado más al norte de latitud y sólo 100 m menos de altitud que las plataformas del Perigord, entre el Vézère y el Dordogne, y el área del Dronne e Isle deberían aumentar las temperaturas en Julio en 5°C ó 6ºC, un mínimo de 60 días con temperaturas superiores a 10°C y 90 días con temperaturas sobre 0°C. Resulta difícil explicar semejante variación térmica en un área tan cercana, casi a la misma altura y con el área más cálida ligeramente más al norte que la fría.

El método de correlación de PEARSON puede explicar algunas cosas. Nadie niega que en áreas de límite de distribución de los restos de una especie, los escasos huesos representados puedan haber sido transportados por el hombre, pero el método carece de la capacidad de poder reconstruir ambientes o ecosistemas.

El *Método de SHOTWELL* es uno de los métodos que intentan definir los verdaderos componentes de una comunidad animal a partir de los restos arqueológicos. El método de correlación de PEARSON utilizado por BOYLE es un sistema de relación porcentual. Sólo implica el volumen de restos de cada especie identificados. El método de SHOTWELL, sin embargo, implica también a las variaciones en la representación de un esqueleto de los ungulados de un yacimiento dado. El método se basa en el cálculo del número corregido de especímenes por individuo *(CSI).* Este número se calcula en dos fases. En primer lugar, se multiplica el total de restos identificables de cada especie, aparecidos en un yacimiento, por 100 y se divide por el número estimado de elementos (número de piezas que forman parte del esqueleto de una especie dada con la excepción de las vértebras y las costillas). Posteriormente, el resultado obtenido se divide entre el número mínimo de individuos por especie *(NMI).* Dicho número representa una relación porcentual entre los restos que deberían aparecer si el animal hubiera sido cazado y transportado, a excepción del tronco, hasta el yacimiento y los que realmente aparecen en él. SHOTWELL asume que si el número corregido de especímenes por individuo *(CSI)* es elevado, la representatividad es alta. Si el CSI es bajo, la especie será menos abundante o inexistente.

Aun cuando el modelo no deja de resultar interesante, adolece de las mismas limitaciones que el método de correlación de PEARSON. El hecho de que las partes esqueléticas de una especie estén poco representadas no indica necesariamente que dicha especie no esté presente. Una especie que vive a baja densidad en un entorno determinado puede quedar sub-representada no sólo en el número de restos generales, sino también en el número de elementos del esqueleto por individuo. Un animal escaso podría no ser cazado de forma frecuente, pero sus restos podrían ser utilizados (cornamenta, dentición...). No debemos olvidar que un cadáver es más fácil de "capturar" que un animal vivo.

Por otro lado, el método de SHOTWELL pasa por alto el hecho de que los restos óseos rara vez se encuentran intactos. Los huesos suelen aparecer muy fragmentados y alterados por la acción de otros ani-

males, lo que en ocasiones imposibilita toda identificación. Por otro lado, los restos de determinados mamíferos son menos vulnerables a la acción del pisoteo que otros, lo que deja siempre un margen de incertidumbre. La pretensión de que los restos aparecidos en un yacimiento dado no hayan sido todos contemporáneos, y por lo tanto miembros de la misma comunidad biótica, es bastante lógica debido tanto a la extraña composición de las mismas (especies de bosque, estepa y tundra conviviendo juntas) como a los diferentes componentes porcentuales de restos (abundancia en ciertas áreas de los restos de una o más especies y extrema escasez de otras). SHOTWELL define muy bien la idea de todos los métodos de relación porcentual:

" *La comunidad de los mamíferos con una mayor integridad relativa es aquella más cercana al sitio de deposición",* (SHOTWELL 1958, p. 272).

Esta idea es, cuando menos, imprecisa. Las variantes en la densidad de ungulados entre dos regiones no tiene necesariamente que corresponder a un período climático concreto. Otros factores pueden variar la representatividad de los restos con respecto a las comunidades existentes. Por lo tanto, los métodos porcentuales cuando intentan descender a los detalles de carácter climático han de ser tomados con mucha cautela.

- Sistemas cuantitativos: las limitaciones de los métodos de análisis porcentual son conocidas desde hace varias décadas. Ya en plenos años 40, el investigador checo Z. HOKR se percató de los imponderables de todo tipo que afectaban a dichos análisis.

HOKR (1951) partía del principio de que las especies presentes en un nivel de sedimentos, en el cual no existiesen graves alteraciones postdeposicionales ni recientes contaminaciones, correspondían a restos de las especies presentes en el área. Las especies presentes no tenían porqué ser todas, algunas podían no haberse sedimentado. Tampoco reflejaban una población estable, muchas especies son en la actualidad migratorias y sólo viven en un área durante una época del año. La abundancia relativa de restos de cada especie no tenía, o no tenía por qué tener, relación con la densidad de dicha especie en una zona.

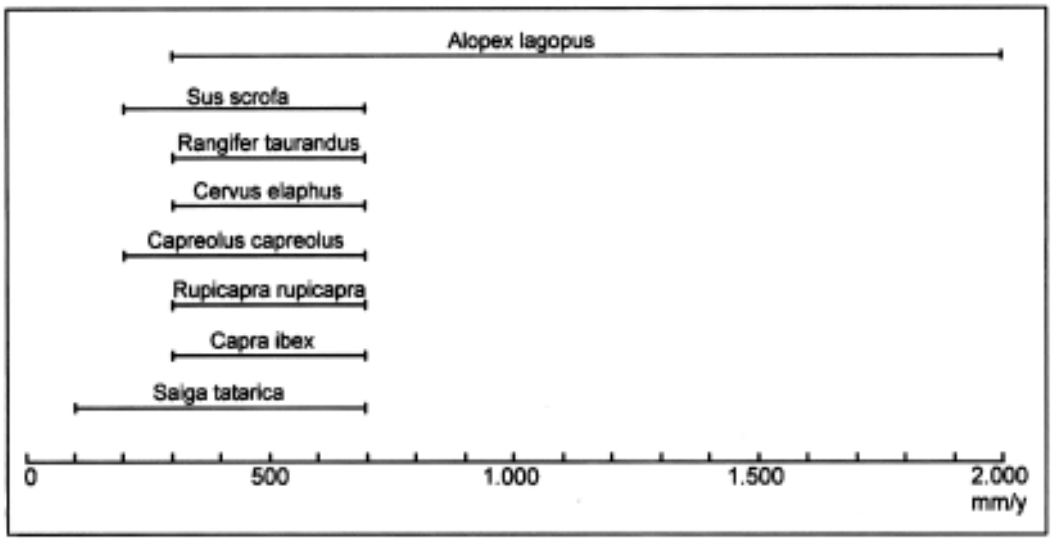
A partir de 1944, la distribución de las especies actuales terminó de delimitarse en la Unión Soviética gracias a los trabajos de zoólogos como KURNETZOV, DOBRINSKOY o KUSJAKIN. Para esa misma época, los trabajos de L.S. BERG definieron los parámetros de temperatura (número de días por encima de 5°C y 10ºC), que permitían conocer los límites climáticos del permafrost. Varias décadas antes, A.S. MILLER estudió las curvas ideales de temperatura anual y precipitaciones dentro de las cuales se desarrollan los grandes ecosistemas como la estepa, la tundra o la taiga. E. DE MARTONNE estudió, por su parte, las precipitaciones medias anuales de las principales ciudades de Europa y de la antigua U.R.S.S. (HOKR 1951).

Con estos datos era posible conocer las condiciones de temperatura y humedad dentro de los cuales viven las especies actuales. Las especies presentes se comparaban entre sí para una serie de factores climáticos, como temperatura media en el mes más cálido y en el más frío, número de días por encima de 5°C y 10°C y precipitaciones anuales totales. En la zona donde los límites máximos y mínimos de la distribución actual de cada especie en que todas las especies de un nivel sedimentario coincidieran, ese sería el valor para cada parámetro en ese área y en el momento de la formación del estrato en cuestión.

En principio, este método es el único que permite definir límites climáticos claros para un área determinada, permitiendo teóricamente una definición de los climas reales que existieron en períodos concretos. El método conlleva ciertas limitaciones, analizadas con posterioridad, que suponían un handicap para su utilización. A pesar de todo es el principio del que podría partirse para la creación de un sistema de análisis climático cuantitativo. Por ello no deja de resultar sorprendente la aparente falta de interés por parte de los investigadores para su estudio y desarrollo. Sólo unos cuantos han intentado su puesta en práctica con sus variaciones en mayor o menor grado, pero en la práctica ninguno de ellos lo ha utilizado para lo que, teóricamente, fue creado, la reconstrucción de climas en regiones concretas para períodos homogéneos (yacimientos sincrónicos). Los investigadores que se citan a continuación sólo han aplicado el método para localizar variaciones climáticas diacrónicas, a partir de uno o un puñado de yacimientos.

En 1981, M.F. BONIFAY decidió aplicar el método de HOKR, ligeramente modificado, con el fin de analizar las variaciones climáticas durante el tardiglacial würmiense (20.000-10.000 BP). El análisis partía de la definición de sólo cuatro parámetros climáticos: precipitaciones, temperatura máxima en el mes más cálido y en el más frío y el número de días con temperaturas superiores a 5°C.

Las principales especies presentes en el suroeste de Francia durante este período recibieron los límites presentan su distribución actual. Una vez comparadas las especies (tabla 9), la autora llega a unas conclusiones para el suroeste francés que se plasman en la tabla 10. En ella se analizan cuatro yacimientos, Laugerie-Haute Este (cubre los períodos Solutrense y Magdaleniense inferior), La Flageolet II y Fontgaban (Magdaleniense superior) y Pont d'Ambon (Aziliense), entre el 20.000 BP y el 10.000 BP.



Tab. 9. Límites higrométricos que soportan diferentes especies (BONIFAY 1982).

Seuils climatiques extrêmes des faunes préhistoriques entre ca 20.000 et ca 10.000 BP dans le Sud-Ouest de la France
Climatic thresholds of prehistoric faunas betwen ca. 20.000 BP and ca. 10.000 BP in the southwest of France

Excavations / Niveau et culture préhistorique	Age (ans B.P.)	Faunes	(%)	Paléoclimatologie: hygrométrie (évapotranspiration) (mm/an)	nombre minimal de jours > 5° C	extrêmes des températures moyennes (° C): Janvier	Juillet	
Pont d'Ambon (Dordogne)								
3a - Azilien	ca. 10 350	*Cervus*	82	300 - 700 (e < 800 mm)	150	-30	+25	
		Capreolus	6					
		Sus	7,6					
Fongaban (Gironde)								
4 à 6 - Magdalénien supérieur	ca. 14 500	*Bison*	76	100 < h < 300	160	-20	+28	
		Saiga	13					
Flageolet II (Dordogne)								
IX - Magdalénien supérieur	de 12 160±690 à 13 200±320	*Rangifer*	94	300 - 700 (e < 300 mm)	125 < n < 160	-20	+17	Absence de permafrost
		Cervus	2,4					
		Saiga	1,2					
Laugerie - Haute-Est								
2 à 8 - Magdalénien II et III	14 020±480 (Magdalénien III)	*Rangifer*	91	300 - 700 (e < 300 mm)	125 < n < 160	-20	+17	
		Equus	4,3					
		Saiga	1,6					
9 à 17 - Magdalénien I	ca. 17 000	*Rangifer*	95	300 - 700 (e < 300 mm)	100	-20	+17	
		Equus	2,7					
		Capra ibex	0,9					
18 à 21 - Magdalénien 0 et Solutréen supérieur	18 310±360 (Magdalénien 0)	*Rangifer*	6,4	300 - 700 (e < 300 mm)	100 < n < 160	-20	+17	
		Saiga	1,2					
		Rupicapra	5,4					
22 à 31 - Solutréen	ca. 20 000 (31 = 20 940±300)	*Rangifer*	90	300 - 700 (e < 300 mm)	100	-20	+17	
		Equus	5					
		Capra ibex	2,1					

Tab. 10. Evolución de los umbrales climáticos extremos de las faunas prehistóricas en el SW de Francia (BONIFAY 1982).

Más recientemente, J. CHALINE y G. BROCHET (1989) vuelven a utilizar el método de HOKR, aunque también modificado por ellos mismos. Los autores analizan seis variables: temperatura media mínima anual, temperatura media máxima anual, número de días con temperaturas iguales o superiores a 10°C y las precipitaciones en invierno, en primavera hasta inicios de verano y de verano hasta fines de otoño. Una segunda modificación implica la variación de los límites de los parámetros climáticos de las distintas especies. Evidentemente, un ciervo no está limitado por las temperaturas de la antigua U.R.S.S. sino por

las del conjunto de su distribución. HOKR sólo utilizó los datos de dicha región junto a los de los países del Este. La introducción de los parámetros climáticos de Europa occidental implicaba eliminar el peligro de continentalizar artificialmente los resultados climáticos. La tercera modificación era el introducir los porcentajes de las especies presentes con el único fin de que figurase dicho dato en el análisis. Este método conllevaba el que los parámetros climáticos que definían las especies, que representaban el 95% del volumen total de restos por nivel, eran lo suficientemente representativos del clima del lugar o, expresado en palabras de los autores,

"existe un 95% de probabilidades de que dicha asociación haya vivido bajo esas condiciones", (CHALINE y BROCHET 1989, p. 103).

Si las especies, presentes hasta un 87%, se encuentran entre parámetros idénticos, se toma en cuenta esta posibilidad así como la del 75% de la asociación. En caso de que las especies que conforman el 75% ó el 87% de los restos habiten dentro de uno o varios de los parámetros, en los que el resto de especies no coincidan en absoluto, en cuyo caso se toman estos porcentajes de posibilidad. Se puede discutir ampliamente acerca de la oportunidad de incluir las variantes que los autores utilizan sobre el método de HOKR. Parece bastante lógico el cambio efectuado por BROCHET al añadir las condiciones climáticas de Europa occidental a los parámetros climáticos utilizados. BONIFAY, que utiliza los datos de HOKR, considera que las precipitaciones máximas en las que habita el ciervo es de 700 mm anuales. Esto es cierto en los territorios del Este, pero en ciertas áreas de media montaña, al norte de los Alpes Escandinavos, así como en Irlanda, Escocia o Galicia, este herbívoro puede soportar precipitaciones superiores a los 3.000 mm anuales.

Las variantes introducidas en los parámetros utilizados son en sí mismas más complejas de analizar. Como ya se ha referido, determinadas especies faunísticas, como el saiga o el reno, no poseen en la actualidad áreas donde ambas puedan localizarse de forma conjunta. El reno vive en tundras y taigas, mientras que el antílope saiga ocupa las estepas y subdesiertos fríos. Si realizásemos un análisis de un yacimiento en que ambas especies aparezcan juntas, siguiendo el método de coincidencia de HOKR en parámetros como temperatura media en el mes más cálido o número de días por encima de 10ºC, el resultado sería que para dichos parámetros climáticos no existen áreas de coincidencia. Existe la posibilidad de que en épocas históricas reno y saiga conviviesen en algún punto de sus respectivas distribuciones. Ambas están en la actualidad fuertemente influenciadas por la actividad antrópica. En el siglo XVIII el reno alcanzaba áreas de estepa arbolada en la Siberia occidental, mientras que el saiga tenía una distribución más norteña. El área actual de estepa arbolada en la ex-Unión Soviética ha ido siendo ocupada por cultivos durante este siglo, lo que eliminó la posibilidad de un área de contacto (en el norte de Mongolia la distribución de las dos especies es coincidente en algunos puntos. Este hecho es pasado por alto por muchos investigadores debido a la tendencia a obviar los datos procedentes del Este. Tendencia, que como vimos para los datos climáticos utilizados por HOKR, también afectaba a los investigadores del "otro bando").

El caso de los roedores es aún más problemático. Ciertas especies, como *Dicrostonyx torquatus* o *Lemmus lemmus,* tienen distribuciones exclusivamente tundroides; otras, como *Citellus superciliosus* o *Lagurus lagurus,* las tienen esteparias y algunas como *Pitymys subterraneus* viven en áreas degradadas y soleadas dentro de bosques caducifolios o mixtos. En el yacimiento de la Baume de Gigny, *Dicrostonyx torquatus* comparte el nivel VI con *Citellus,* el XIV_a inferior con *Lagurus lagurus* y el XV y XX con *Pitymys.* En ninguno de estos casos los parámetros citados para el reno y el saiga serían coincidentes.

Evidentemente, un análisis de estas características implicaría que, para determinados rangos climáticos, sería imposible una coincidencia cuando determinadas especies están presentes. Si tenemos en cuenta que este hecho es bastante frecuente, el resultado sería muy decepcionante ya que implicaría un fallo en la metodología propuesta. Las especies actuales no vivirían en el Würm bajo parámetros climáticos actuales. BONIFAY, consciente de estos límites, se apoya en una cita del paleobiólogo VANGERGEIN, experto en la evolución de la fauna en la antigua U.R.S.S., para decir que:

"Las asociaciones constituidas en el Pleistoceno son por lo tanto fenómenos únicos ligados al relieve, la latitud y el clima de cada región, sin una equivalencia en época contemporánea", (BONIFAY 1982, p. 208).

Esta realidad es la que en el fondo define los parámetros climáticos utilizados y las variantes realizadas sobre el método de HOKR. BONIFAY compara el límite de los extremos de las temperaturas medias anuales, el número de días con temperaturas superiores a 5°C y las precipitaciones anuales totales. Estos datos no ofrecen la posibilidad de incompatibilidad entre las especies estudiadas, pero a cambio apenas nos dicen nada en concreto sobre los posibles climas de dicho período. En la figura 32, para los niveles 18 a 21, las temperaturas medias extremas estarían entre -20°C para el mes más frío y los 17°C para el más cálido. La temperatura en el mes más

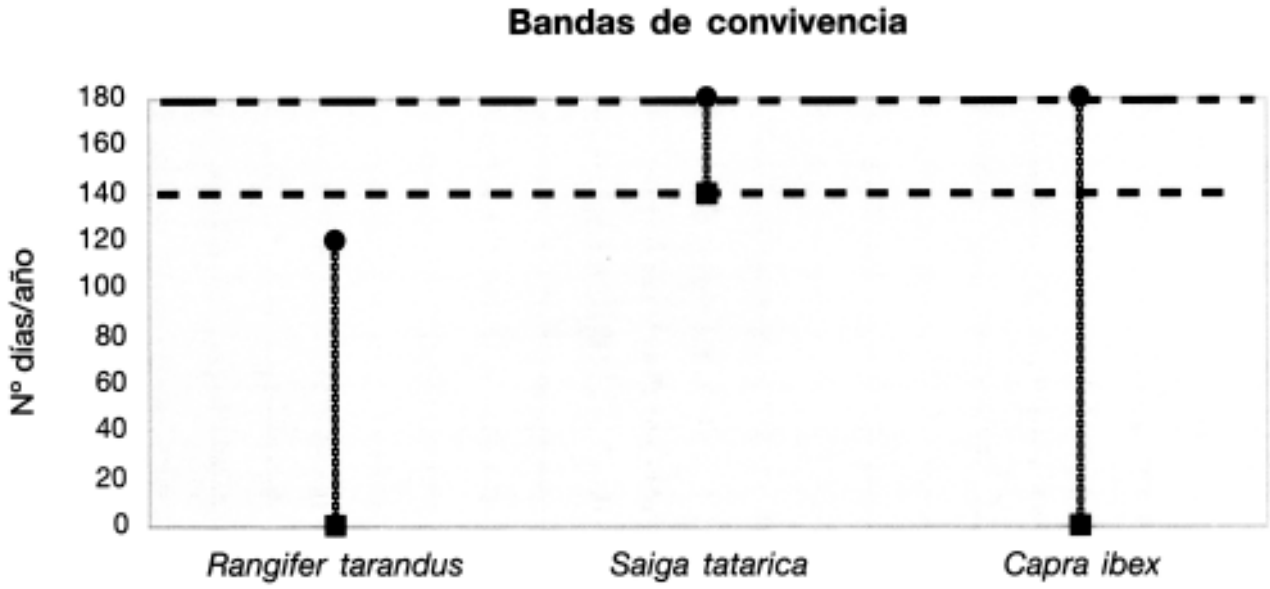


Fig. 22. Gráfico que muestra las bandas de convivencia para el número de días con temperaturas medias superiores a 10°C de tres ungulados. Como se puede observar Capra i. y Rangifer t. conviven entre 120 y 0 días. Capra i. y Saiga t. conviven entre 140 y 180 días. Sin embargo, Rangifer t. y Saiga t. no lo hacen en ningún punto, puesto que actualmente el primero no vive en ningún área con más de 120 días con temperaturas superiores a 10°C y el segundo no lo hace con menos de 140 días.

cálido, 28ºC, sólo indica la temperatura media extrema del mes más cálido que la asociación de estos niveles soportaría, pero no nos dice nada acerca de la temperatura más baja en el mismo mes, con lo que el resultado es simplemente inútil.

Un parámetro de escala lineal como la temperatura debe estar limitado en dos puntos para conocer su valor aproximado. Si éste es lo suficientemente estrecho nos permitiría una aproximación climática. Sin embargo BONIFAY no lo hace. Si lo hubiese intentado se hubiera encontrado con que el límite entre los parámetros del reno *(Rangifer tarandus)* y el rebeco *(Capra ibex)* serían compatibles, pero no los del antílope saiga (figura 22).

El método de HOKR, ponderado por G. BROCHET, utiliza unos rangos climáticos que permitirían una valoración más precisa de las características climáticas actuales comparables. Los rangos climáticos utilizados son, en principio, comparables con dominios climáticos concretos. Como veíamos, si pretendiésemos utilizar el método de HOKR tal cual, mediante lo que sería una

"intersección acumulada de los límites máximos y mínimos para cada parámetro de las especies presentes en una asociación faunística", (CHALINE y BROCHET 1989, p. 102), estaríamos ante incompatibilidades entre especies. BROCHET pretende eliminar este problema mediante un sistema porcentual añadido. El sistema presenta tres problemas fundamentales. El primero se centra en que los datos porcentuales no tienen por qué reflejar los porcentajes reales de la densidad relativa de las especies. En segundo lugar, resulta difícil comprender estadísticamente la manera de comparar dos niveles como el XXIV, con 5 restos pertenecientes a tres especies, y el XVI_b inferior, que sólo en su tramo más profundo posee 3.699 restos correspondientes a doce especies. El tercero es el más importante: si dos especies son incompatibles para un rango con los datos actuales, BROCHET considera que la asociación está definida para ese parámetro por las especies más abundantes. Así, en el nivel XIV_a inferior, para el rango del número de días con temperaturas superiores a 10ºC, la asociación tendría el 75% de posibilidad de vivir entre 25 y 50 días por encima de esa temperatura, un 95% de vivir entre 50 y 150 días y un 87% de hacerlo entre 150 y 250 días. Muy pocas especies pueden vivir en esta asociación. Entre 25 y 50 días sólo *Dicrostonyx torquatus, Arvicola terrestris* y *Microtus malei. Microtus agrestis* y *Clethrionomis glareolus* representan el 75% de la asociación. Entre 50 y 150 días pueden vivir todos salvo *Dicrostonix torquatus* y *Lagurus lagurus.,* pero estos sólo son dos restos de 113, por lo que el resto de miembros de la asociación definirían el 95%.

Supongamos que el número real de días estaría entre 50 y 100 días. En ese caso ni *Dicrostonyx* ni *Lagurus* deberían estar en ese nivel: el primero nunca habita actualmente en áreas con más de 50 días a más de 10°C y el segundo jamás lo hace en áreas en que, para este rango, baje de los 100 días. Para explicar esa contradicción sólo quedan cuatro posibilidades:

- El área tenía tantos biotopos diferentes que permitía la presencia de ambas especies simultáneamente en un área. Al no producirse ese fenómeno actualmente no podría ser comprobado puesto que la única prueba sería la presencia de las especies en cuestión en el nivel, argumento circular y por consiguiente inútil.

- Una o las dos especies no vivían en el área y sus restos llegaron hasta allí transportados de alguna manera. Este problema ya lo discutíamos anteriormente y veíamos que, aunque posible, era incomprobable. El hecho de que una especie sea rara no implica que no exista (en el mismo trabajo CHALINE y BROCHET estudian un conjunto de roedores que viven "actualmente" en los alrededores del yacimiento. En él, los autores consideran que *Pitymys subterraneus* representa sólo un 3% en volumen de individuos con respecto a la abundancia de las otras siete especies presentes. Un conjunto actual de roedores compuesto por 113 ejemplares es muy probable que sólo dejase uno o dos restos de la especie citada y, sin embargo, la especie está presente en el área).

- Las condiciones climáticas durante la formación del nivel XIV_a inferior variaron tanto que permitieron una sucesión de asociaciones faunísticas, en cuyo caso las especies no hubieran sido todas contemporáneas. Esto implicaría un cambio de los biotopos. La sucesión sería:

cambio climático ⇒ cambio de la vegetación ⇒ cambio de la asociación faunística.

Este proceso es lento y difícilmente pasaría desapercibido en la composición geológica del nivel.

- Las especies citadas no están limitadas actualmente por las temperaturas (en este caso por el número de días con temperaturas superiores a 10ºC.), sino por el tipo de ecosistema. *Lagurus lagurus* vive en estepas y subdesiertos de artemisas y difícilmente podría sobrevivir en condiciones tundroides puras. *Dicrostonyx* vive en tundras secas, introduciéndose escasamente en la tundra arbustiva o arbolada. Ambas especies tienen áreas de distribución separadas por más de 2.000 km de taiga siberiana. Durante las fases frías del Würm pudieron existir tundras secas y muy probablemente estepas y subdesiertos de artemisas, pero no había bosques y, por lo tanto, ninguna separación entre ambos ecosistemas. Sería perfectamente viable que en ese bioma de transición no forestal pudieran cohabitar ambas especies. El verdadero problema es su comprobación. En una situación semejante, los parámetros climáticos que limitan la distribución de las especies faunísticas serían diferentes a los actuales y, lo que es peor, posiblemente todas las especies que en nuestros días ocupan ecosistemas no forestales *(Dicrostonyx, Lagurus, Citellus)* y las que ocupan biotopos no forestales en ecosistemas boscosos *(Pitymys subterraneus)* se verían afectadas, por lo que cualquier intento de reconstrucción climática con el método de límites climáticos quedaría seriamente dañada en lo que posiblemente es su base, el actualismo, que no es otra cosa que la capacidad para utilizar datos comprobados experimentalmente hoy en el análisis del pasado.

4. Los coeficientes climáticos.

Uno de los métodos utilizados por ciertos investigadores para cuantificar las variaciones climáticas es el de los denominados coeficientes climáticos. En esencia, el método implica asignar una cifra a cada especie que depende de las temperaturas y/o precipitaciones en las que el animal vive. La comparación entre los distintos coeficientes de las especies presentes en varios niveles de un yacimiento nos permitiría manejar una variación numérica de las condiciones climáticas.

Uno de estos primeros intentos corresponde a F. FABRE (1964), que puso en funcionamiento un método poco utilizado por lo general, pero conocido y criticado por especialistas más recientes (DELPECH 1983). La metodología en cuestión parte de los análisis de HOKR (1951), referidos a las temperaturas medias en el mes más cálido, el número de días con temperaturas superiores a 5°C y el número de días por encima de 10°C. El coeficiente térmico de FABRE se halla dividiendo por 2 los máximos y mínimos de cada factor mencionado. Las cifras resultantes son primeramente sumadas en dos grupos. La temperatura en el mes más cálido y más frío, por un lado, y los días con temperaturas superiores a 5°C y 10°C multiplicados por 2, por el otro. Por último se suma el último resultado a la suma de las medias en los meses más cálido y más frío. El resultante es el coeficiente térmico. FABRE pone como ejemplo el caso del zorro ártico (Alopex lagopus). La temperatura máxima y mínima en el mes más frío para esta especie es de -70°C a -10ºC, dividida entre 2,

$$\frac{-70º + -10º}{2} = -40ºC$$

de la misma forma para la media del mes más cálido,

$$\frac{0º + 15º}{2} = 7{,}5ºC$$

para el nº de días por encima de 5ºC,

$$\frac{0+140}{2} = 70 \text{ días}$$

y para el nº de días por encima de 10ºC,

$$\frac{0 + 100}{2} = 50 \text{ días}$$

Los dos primeros resultados se suman -40 + 7,5 = -32,5ºC. Los otros dos restantes se multiplican por 2, 70 x 2= 140 y 50 x 2= 100, y se suman nuevamente, 140 + 100= 240. Eliminando la última cifra para su simplificación se suma al resultado anterior, -32,5 + 24= ***-8,5.*** Éste último es el coeficiente térmico de *Alopex lagopus.*

El coeficiente indica unas características más cálidas según sea más elevado. De esta forma, para los ungulados, el coeficiente más bajo, típico de especies frías, sería el reno con ***0,50,*** mientras el más elevado correspondería al jabalí con ***83*** de coeficiente (FABRE calculó el coeficiente del bisonte europeo en ***64.*** Resulta sorprendente comprender dónde han obtenido, FABRE y HOKR, los datos climáticos de una especie cuya distribución natural no se conoce y que hoy está practicamente desaparecida). Posteriormente, el coeficiente térmico de cada especie se suma para cada conjunto de un nivel arqueológico y se divide entre el número de especies.

Un ejemplo sería el caso de l'Abri du Colombier (valle del Ardèche, Francia) en su nivel III,

	coeficiente térmico
Capra ibex	56
Rupicapra rupicapra	56
Cervus elaphus	74
	186

186 / 3= ***62,*** coeficiente térmico del nivel III.

Los niveles con faunas frías, como el reno o el zorro ártico, darán lógicamente coeficientes más bajos que aquellos en los que estas especies no están presentes.

El método en sí mismo ha sido criticado, como se ha dicho, por DELPECH y otros autores por no tener en cuenta los porcentajes de las distintas especies y sólo utilizar los factores de presencia/ausencia. Por otra parte, este sistema aplicado al Suroeste francés tiene sentido. El mismo método aplicado en el área Cantábrica, donde *Rangifer* y *Alopex* son muy raros, daría como resultado que los niveles contemporáneos de cuevas muy próximas proporcionarían coeficientes diferentes por la simple presencia en cualquiera de ellas de un puñado de restos de reno. El problema fundamental que caracteriza al método es la imposibilidad de reconstruir un clima concreto. El coeficiente climático nos dice únicamente si un nivel es más cálido o más frío. Aun en el caso de que todas las especies presentes en el área se encuentren en el yacimiento, cuestión bastante dudosa, nada sabríamos acerca de las temperaturas ni, por supuesto, de las precipitaciones, ausentes en el estudio. Evidentemente, cualquiera puede percatarse de que la presencia en un nivel de *Rangifer* y *Alopex* y su ausencia en el inmediato, implica un clima más cálido, por lo que no es necesario un coeficiente climático para saberlo, a no ser que nos ofreciese más información, y por desgracia el método de FABRE no lo hace.

Recientemente, CH. GRIGGO (1995) ha puesto a punto un método perfeccionado que pretende solventar dos importantes defectos de la anterior propuesta: la falta de datos climáticos concretos y la utilización de los porcentajes de las especies presentes en cada nivel. El sistema comienza por la atribución de unas "exigencias climáticas medias" para 29 mamíferos y 3 aves europeos, y sobre 5 factores climáticos (temperaturas medias en enero, julio y anual, nº de días al año con heladas y precipitaciones anuales totales). Para conseguirlo, GRIGGO superpone un mapa de la distribución de cada especie a un mapa de las estaciones meteorológicas de Europa. A partir de ahí se conseguirá, para cada factor, el máximo y el mínimo en la distribución de la especie y tras ello, una media partiendo de un sistema similar al de FABRE. Los datos obtenidos se utilizan para analizar yacimientos concretos. Para ello se aislan las especies de cada nivel y se comparan, mediante integrales, las medias en cada parámetro.

Estas se pueden analizar mediante el estudio de las especies, presencia/ausencia, o añadiendo los porcentajes del número de restos o del número mínimo de individuos. Cada nivel arqueológico proporcionará tres índices para cada parámetro, con los que se pueden crear curvas, comparables a las de la secuencia general de la curva isotópica o de las turberas de referencia, como Les Echets.

Uno de los dos yacimientos analizadas es el de l'abri Suard, en Charente, cuyos resultados pueden verse en la figura 23, donde los niveles 6 y 5 corresponden al Magdaleniense final y los niveles 4 y 3 al Aziliense. Entre los dos primeros y los superiores se puede apreciar la aparición de conejo, jabalí, erizo y castor, así como una reducción drástica de *Lepus timidus* y *Rangifer tarandus,* junto con un aumento de *Cervus elaphus,* que aparece sólo en el nivel 5 y *Capreolus capreolus.*

El resultado visible en la figura está claro. En el nivel 6, la temperatura media en el mes más frío ronda entre -4°C y -5°C. La del mes de julio entre los 16°C (nivel 5) y los 18°C. El número de días de hielo se situaría entre 120-150 días/año y las precipitacio-

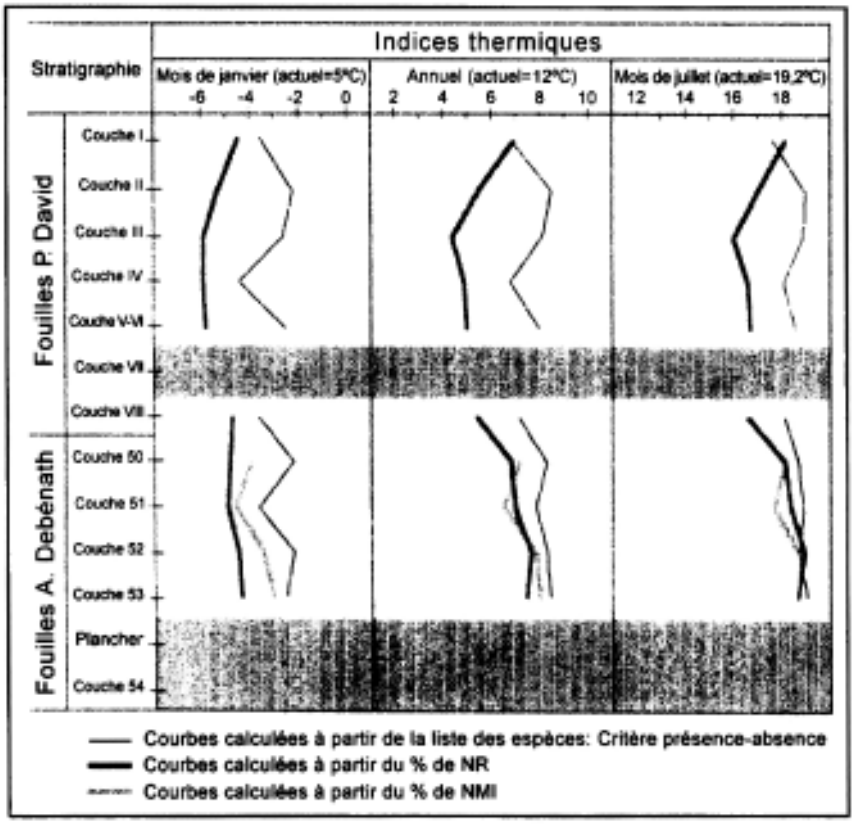


Fig. 23. Diagrama que muestra las variaciones de los índices térmicos en los niveles del yacimiento de Abri Suard (GRIGGO 1996).

nes entre los 640-670 mm/año. Entre los niveles 5 y 4 se produce un claro calentamiento del clima. Las precipitaciones aumentan hasta los 729 mm anuales. La temperatura en Enero se sitúa entre -2°C y 0°C. La de Julio es practicamente idéntica a la actual, 19,2ºC y el número de días de hielo al año rondaría los 80-100. Según esto, el modelo indica claramente un atemperamento climático. GRIGGO llega a la conclusión de que ello es el paso de un clima ártico de vegetación abierta a un clima de bosque. Las condiciones actuales, bajo las temperaturas y precipitaciones de los niveles 6 y 5, corresponden a un área a medio camino entre Moscú y las repúblicas bálticas, cubierta de densos bosques mixtos de robles, arces, carpes, pinos, abetos y piceas. Las condiciones de los niveles 4 y 3 podrían corresponder a la zona de la desembocadura del río Vístula, en el norte de Polonia, cubierta originalmente por bosques caducifolios de robles, carpes y hayas.

Es ciertamente difícil de comprender la existencia de una especie como el suslik europeo *(Citellus citellus),* presente en todos los niveles, en ecosistemas forestales como los mencionados. También es difícil comprender por qué el reno representa el 5,67% del total de restos en un clima de bosque caducifolio en el nivel 4. En el nivel 3, de cinco restos dos lo son de búho nival. En el nivel 4, de 59 restos de aves, 20 son de esta especie, 40% del total y la especie mejor representada. Resulta sorprendente que una especie que en el norte de Polonia es de presencia excepcional se encuentre tan bien representada en un clima de bosque caducifolio. El autor parece consciente de que al tomar sólo los datos de Europa ha cometido el error de "atemperar" los datos empleados, punto que en las conclusiones cree necesario ampliar dichos datos a Asia e incluso a América. Sin embargo hay dos cuestiones que parece no tener en cuenta.

En primer lugar, la posibilidad de incoherencias, *Rangifer* y *Citellus* no coinciden en sus áreas de distribución en ningún punto, por lo que los límites climáticos no se solapan. El resultado sería, como vimos, que las dos especies no deberían estar juntas. Por lo tanto, tomar sus datos, hacer una media y analizarlas después conjuntamente, es un artificio matemático sin base en la ecología actual de la especie o especies estudiadas. Esto sería especialmente grave cuando el "actualismo" es una de las virtudes predicadas por el autor.

El segundo problema es que una especie vive dentro de unos límites climáticos, no en una media matemática. El sistema sólo sirve en última instancia para saber si un clima es más cálido/frío o más húmedo/seco, pero creer que el dato obtenido se aproxima a los valores reales contemporáneos del nivel sedimentario es bastante optimista.

Como conclusión final, diremos que todos los métodos analizados hasta ahora, aunque representan un avance importante sobre los métodos subjetivos no cuantitativos, parten de una concepción muy limitada sobre la relación entre el clima, los ecosistemas y los restos arqueológicos. El resultado es la aplicación de métodos que, con independencia de sus limitaciones técnicas (perfectamente subsanables en buena parte de los casos), poseen importantes obstáculos de base que les remite a métodos simples de aplicación directa, con una fuerte tendencia a la búsqueda de diferencias temporales-verticales, en lugar de espaciales-horizontales, en el clima y la vegetación. Ello genera datos no necesariamente erróneos al nivel de los objetivos que se pretenden, pero que son en esencia insuficientes para una reconstrucción ecológica completa.

5. Los sistemas isotópicos y las secuencias globales.

La tendencia general considera las secuencias isotópicas como una representación de la evolución de la temperatura global del planeta. Evidentemente, la cantidad de O^{18} atrapado en los casquetes de hielo depende de la amplitud de los mismos y ésta, a su vez, de la temperatura global del planeta. Sin embargo considerar que la extensión de los hielos con respecto a los mares en un momento concreto refleja exactamente la temperatura global del planeta es falso. Para que los hielos se retraigan, proceso muy lento, sería necesario un aumento de las temperaturas previo a dicha regresión. En la figura 24 no se marca ninguna inversión en el proceso de deshielo entre el máximo Glacial, 18.000 BP, y el inicio del Holoceno, 10.000 BP. Es evidente en primer lugar, que las temperaturas ascendieron antes de que los hielos retrocediesen totalmente y la tendencia general sería de calentamiento, pero cualquier reducción de las temperaturas durante este período que no durase más de 1.000 años no quedaría reflejada en la curva isotópica aunque los ecosistemas presentes pudiesen cambiar, ya que estos reaccionan manera másrápida.

En la figura 25 puede apreciarse la comparación de dos escalas de temperatura por isótopos de oxígeno. La primera (izquierda) es la secuencia marina y la segunda (centro) corresponde a la de los hielos de la Antártida. Al compararlos entre sí puede observarse sin dificultad su similitud general con, aparentemente, pequeñas variaciones de detalle. Si se hace con la curva de la secuencia polínica de Grande Pile vemos cómo las diferencias se acentúan. En las escalas isotópicas, los niveles 5_e, 5_c y 5_a son claramente diferentes en intensidad. En la secuencia polínica, sin embargo, sus correspondientes Eemiense, St. Germain I y St. Germain II, aparecen con igual intensidad. Los picos más elevados en la escala isotópica correspondiente a los interestadios Moershoofd, Hengelo y Denekamp, presentan variación en intensidad con respecto a los estadios 5_c y 5_a menor que la que estos últimos presentan respecto al estadio 5_e. Sin embargo en la curva polínica los interestadios no sólo son claramente inferiores al Eemiense y los de St. Germain, sino que además son de composi-

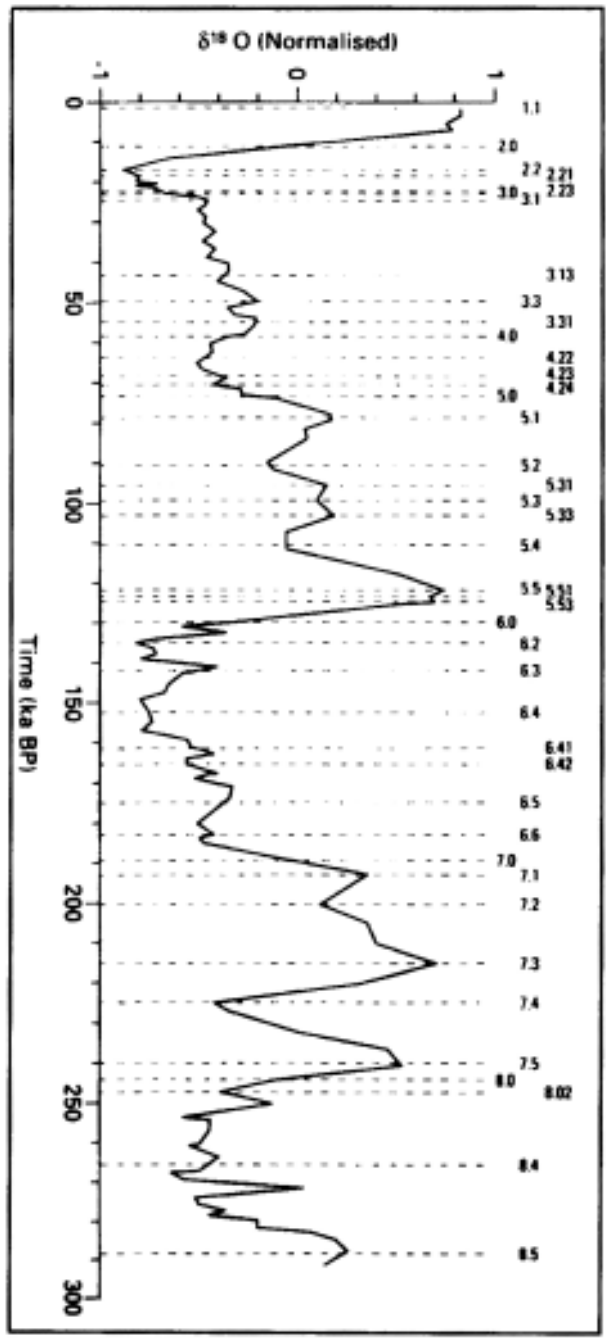


Fig. 24. Cronoestratigrafía del registro isotópico de los fondos marinos estimada para los últimos 300.000 años (MARTINSON *et al.* 1987).

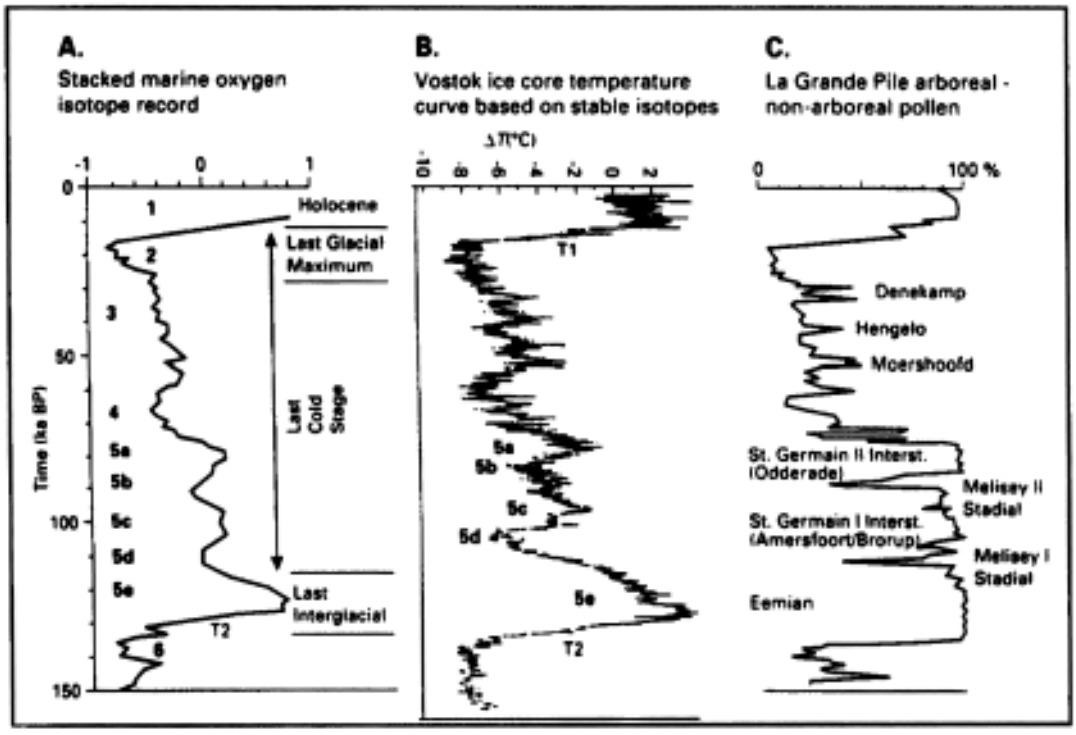


Fig. 25. Comparación de tres secuencias climáticas (isótopos de oxígeno, hielo y registro polínico) para los últimos 150.000 años (LOWE y WALKER 1997).

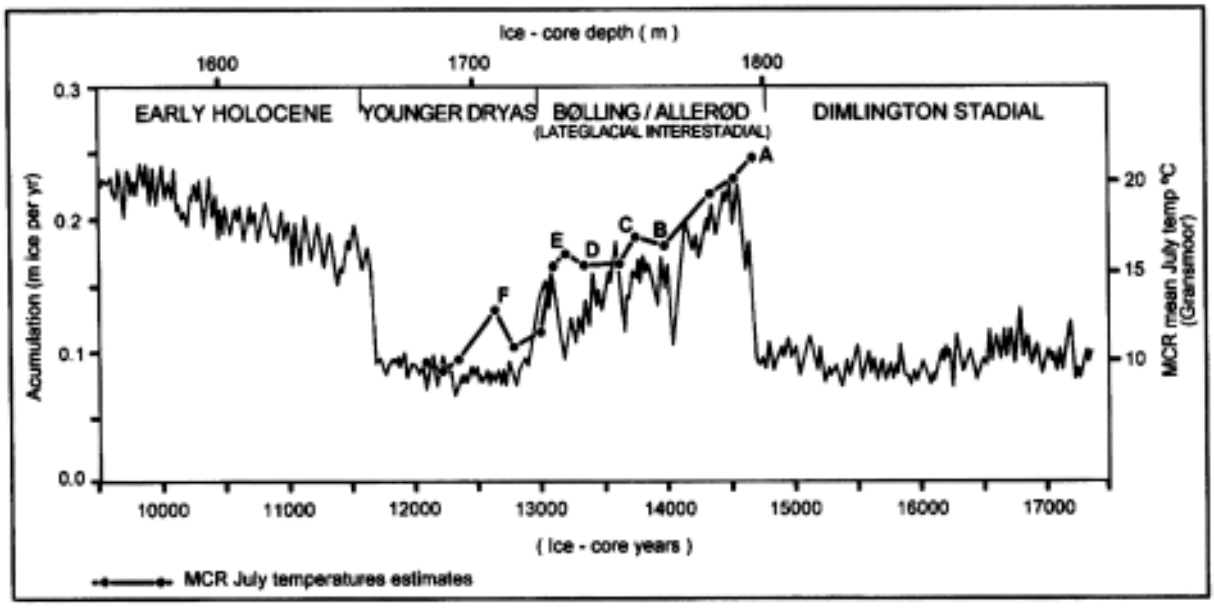


Fig. 26. Comparación entre los índices de acumulación de nieve en Groenlandia durante la última transición Glacial-Interglacial y las paleotemperaturas basadas en los registros fósiles de coleópteros en Inglaterra (LOWE *et al.* 1995).

ción polínica diferente (los primeros con pólenes de caducifolias y los segundos de coníferas). Si analizamos comparativamente estas curvas con otras más detalladas la situación aún se complica más. La sucesión entre el fin de Denekamp, estadio isotópico 3, y los subsiguientes estadios 2 y implica un descenso de las temperaturas y del polen arbóreo, y tras una caída máxima (máximo glacial) se produce una brusca recuperación, sólo interrumpida por una leve reducción identificada como Dryas III.

En la secuencia de la acumulación de nieve durante los últimos 17.000 años, en Groenlandia, figura 26, la situación es claramente diferente. Aquí el ascenso de las temperaturas no es continuado desde el máximo glacial sino que permanece más o menos estable entre el 17.000 BP y el 15.000 BP. Éste as-

ciende y oscila durante unos 2.000 años para caer (Dryas III) a niveles prácticamente idénticos a los del estadial, cuestión que no sucedía en absoluto en las secuencias anteriores. Si pretendiésemos comparar los datos polínicos, geológicos o faunísticos de un nivel arqueológico en cueva, nivel que podría abarcar un espacio de 200 años por ejemplo, ¿cuál sería el grado de diferencia respecto a los niveles anteriores?.

En el análisis llevado a cabo por SANCHEZ GOÑI podíamos observar que, aunque metodológicamente el análisis fuera riguroso, en el momento de comparar las secuencias de los yacimientos con las secuencias de referencia éstas no se correspondían (en algunos casos, como la aparición de pequeñas cantidades de polen de caducifolias en fases estadiales en los yacimientos pero no en las turberas, la autora termina por aceptar la diferencia).

Un problema aún mayor era que los mismos yacimientos no se parecían entre sí, ni en los taxones presentes ni en la escala de sus variaciones. Las variaciones indicadas por los estadios isotópicos permiten captar las variaciones de la temperatura global y sólo de ella a escala planetaria con períodos temporales de 1.000 a 2.000 años. Las turberas, debido a su lento proceso de sedimentación, pueden tener una escala temporal similar, pero el fenómeno que reproducen es diferente, como las tasas de diferentes géneros o familias en un área de cientos de kilómetros a su alrededor. Al depender el polen de la vegetación y ésta del clima, ¿qué variación climática concreta produciría en los Vosgos una caída de 10°C en la temperatura global del planeta?. El clima puede variar mucho en dos áreas que poseen la misma temperatura media anual. Tanto la continentalidad como la variación de las precipitaciones puede variar enormemente las condiciones climáticas reales que dan origen a unas condiciones de vegetación con reflejo en los depósitos de polen.

Los interestadios, como Denekamp o Hengelo, se han correlacionado con elevaciones de la temperatura de las escalas isotópicas del Würm medio. Esta correlación se debe a que se considera, por principio, que un aumento de la temperatura se traduciría en una mayor cobertura forestal.

En la actual Siberia, en el curso del río Angara, junto al lago Baikal, las temperaturas medias en Enero son del orden de -29°C a -25°C; en julio no se superan los 18°C y el número de días por encima de 10°C no va más allá de 100. En el curso bajo del Dnieper, en Ucrania, las temperaturas en Enero no sobrepasan los -5ºC, en julio se llega a 20°C y se llegan a 160 días con temperaturas superiores a 10°C. Nadie negará que el valle del Angara es mucho más frío que la Ucrania del curso bajo del Dnieper y sin embargo el primero está cubierto por un bosque de pinos y alerces, mientras el segundo es sobradamente conocido por su absoluta falta de árboles.

La razón es obvia, a pesar de que el área siberiana recibe menos precipitaciones (nunca se llega a los 400 mm anuales) que la ucraniana (400-500 mm anuales), el grado de evapotranspiración es mucho más elevado en Ucrania que en Siberia, siendo esta variación y no las temperaturas la causa de la diferente cobertura vegetal. Un área más fría está más arbolada. Los árboles pueden ver limitado su crecimiento esencialmente por dos razones: en áreas tundroides y zonas alpinas a causa de la temperatura, en el resto por el grado de evapotranspiración, es decir, por la sequía. Si el área de los Vosgos se mantuvo siempre durante el Würm fuera de condiciones tundroides, la cobertura forestal se mantendría en función de las temperaturas y precipitaciones. En los períodos interglaciales, las elevadas temperaturas en latitudes medias del planeta y el aumento tanto de la temperatura superficial del mar como de la superficie de evaporación crean en la zona atlántica europea un clima sin sequía, muy húmedo. En los períodos glaciales, una superficie marina menor, junto con temperaturas más bajas del agua en las zonas templadas y una temperatura global inferior reduciría la capacidad de evaporación y, por lo tanto, una reducción de las precipitaciones.

Nadie pone en duda que las lluvias durante el Würm fueran inferiores a las actuales (aunque nadie ha podido cuantificarlas). En esas condiciones, un aumento de las temperaturas que no fuese acompañado por una acusada elevación de las precipitaciones incrementaría la sequía y, por tanto, reduciría la cobertura vegetal. Al contrario, una reducción de las temperaturas daría lugar a una reducción de la tasa de evapotranspiración y por consiguiente un aumento de los árboles. La correlación entre los mencionados interestadios y los picos cálidos no parte del carácter sincrónico de los mismos sino de una presunción inducida por la similitud gráfica entre ambas.

Si comparamos la figura 24 con la tabla 11 veremos que en el período comprendido entre el 70.000 BP y el 23.000 BP, período del que nos ocupamos, los márgenes cronológicos de error de los sucesivos picos fríos y cálidos es del orden de 4.000 años. Las dataciones de Grande Pile son tremendamente confusas como vimos. El resultado es que no existe una razón real para presumir que un aumento de la temperatura dé origen a un incremento de la cobertura forestal. En los períodos en que las temperaturas globales del planeta eran muy diferentes a las actuales los resultados en el clima, la vegetación, la forma de sedimentación o la estructura de las comunidades faunísticas, pudo ser muy diferente al actual. Sin un

Event	Depht (cm)	Age (years)	Error (years)	$\delta^{18}O$
1.1	13.0	2 320	2 110	0.86
2.0	80.0	12 050	3 140	-0.06
2.2	129.0	17 850	1 370	-0.84
2.21	146.0	19 220	1 390	-0.76
2.23	219.0	23 170	4 190	-0.65
3.0	238.0	24 110	4 930	-0.60
3.1	264.0	25 420	5 900	-0.42
3.13	375.0	43 880	4 710	-0.34
3.31	469.0	55 450	5 030	-0.17
4.0	495.0	58 960	5 560	-0.32
4.22	520.0	64 090	6 350	-0.43
4.24	570.0	70 820	3 950	-0.40
5.0	600.0	73 910	2 590	-0.18
5.1	651.0	79 250	3 580	0.22
5.2	699.0	90 950	6 830	-0.11
5.3	733.0	99 380	3 410	0.14
5.33	743.0	103 290	3 410	0.21
5.4	780.0	110 790	6 280	-0.02
5.5	818.0	122 560	2 410	0.74
5.51	825.0	123 820	2 620	0.69
5.53	836.0	125 910	2 920	0.66
6.0	865.0	129 840	3 050	-0.28
6.2	901.o	135 100	4 240	-0.83
6.3	959.0	142 280	5 280	-0.50
6.4	1 005.0	152 580	9 910	-0.73
6.41	1041.0	161 340	8 860	-0.51
6.42	1069.0	165 350	8 390	-0.53
6.5	1117.0	175 050	9 840	-0.36
6.6	1170.0	183 300	5 740	-0.48
7.0	1205.0	189 610	2 310	-0.02
7.1	1220.0	193 070	2 020	-0.38
7.2	1240.0	200 570	4 960	0.13
7.3	1270.0	215 540	1 420	0.73
7.4	1 299.0	224 890	1 210	-0.40
7.5	1 359.0	240 190	6 340	0.53
8.0	1 370.0	244 180	7 110	-0.11
8.02	1 380.0	247 600	6 250	-0.43
8.4	1 460.0	265 670	7 720	-0.44
8.5	1 585.0	288 540	3 520	0.27

Tab. 11. Cronología estimada y márgenes de error del registro isotópico de la figura 26 (MARTINSON *et al.* 1987).

método que nos permita comparar los diferentes tipos de datos analizados a partir de sus escalas espaciales y temporales, los intentos de correlación son tan burdos e inútiles como el intentar encajar una barra hexagonal en un orificio circular.

6. Conclusiones.

El principal problema al que se enfrentan todos los investigadores de paleoambientes cuaternarios es el intento de correlacionar los numerosos datos de los que es posible inferir variaciones climáticas. Cada método es, en sí mismo, capaz de mostrar la existencia de ciertas variaciones pero a diferentes escalas, tanto cronológicas como espaciales, y con diferentes grados de precisión. Ninguna de ellas puede inferir directamente unas condiciones climáticas concretas, sino sólo una variación en una única escala. Por último, el grado en el que un ambiente es comprensible va reduciéndose conforme mayor sea la variación con respecto al actual.

IV. LOS CONCEPTOS DE PALEOAMBIENTE Y DE CAMBIO AMBIENTAL

1. Concepto de clima a escala.

Uno de los problemas con los que se enfrentan los intentos de definir el paleoclima es la propia dificultad para definir con un mínimo de precisión las escalas temporales a las que cada uno de los métodos empleados es capaz de recrear un ambiente. Los climas terrestres son, por definición, una serie de medias de temperaturas y precipitaciones durante un período determinado de tiempo (pocas series completas poseen más de 60 años de antigüedad). La escala temporal a la que tomemos un dato nos indicará una serie de características.

Imaginemos una serie temporal hipotética de temperaturas medias anuales durante los últimos 125.000 años, divididas en intervalos de 5.000, como aparecen representadas en la figura 27.

Este gráfico muestra una gran similitud con las medidas isotópicas de sedimentos marinos. Si se estudian períodos más cortos, por ejemplo de 200 años, figura 28, tendríamos una estructura diferente. Los cambios observados quedan totalmente encubiertos por las medias generales correspondientes a 5.000 años.

En caso de analizar un período a una escala mucho más reducida, el resultado sería idéntico, gráfico figura 29 (en este gráfico las temperaturas se corresponden a períodos de 10 años). Se podría reducir la escala y trabajar con períodos de un año sobre 10, obteniendo idénticos resultados. Si se redujese la escala aún más, en meses, el carácter variaría completamente ya que, al contrario que las medias anuales, las mensuales presentan variaciones más intensas, sobre todo en climas fríos. En última instancia podemos reducir la escala temporal tanto como se desee. En el límite de nuestras técnicas de medida, la temperatura de una hoja en un bosque puede variar unos grados en pocos segundos, con tan sólo una nube que intercepte los rayos del sol que inciden sobre ella.

Si se introduce en el análisis el factor precipitación, el problema se multiplica. No son las precipitaciones lo que sostiene a una comunidad vegetal sino

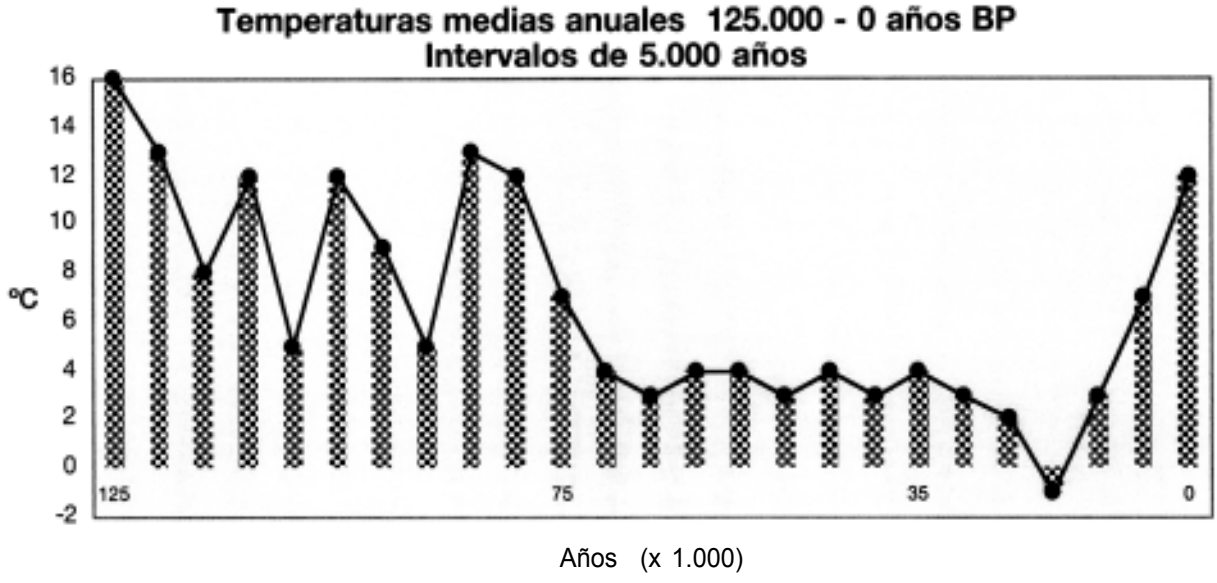


Fig. 27. Evolución hipotética de la curva de las temperaturas medias anuales en intervalos de 5.000 arios.

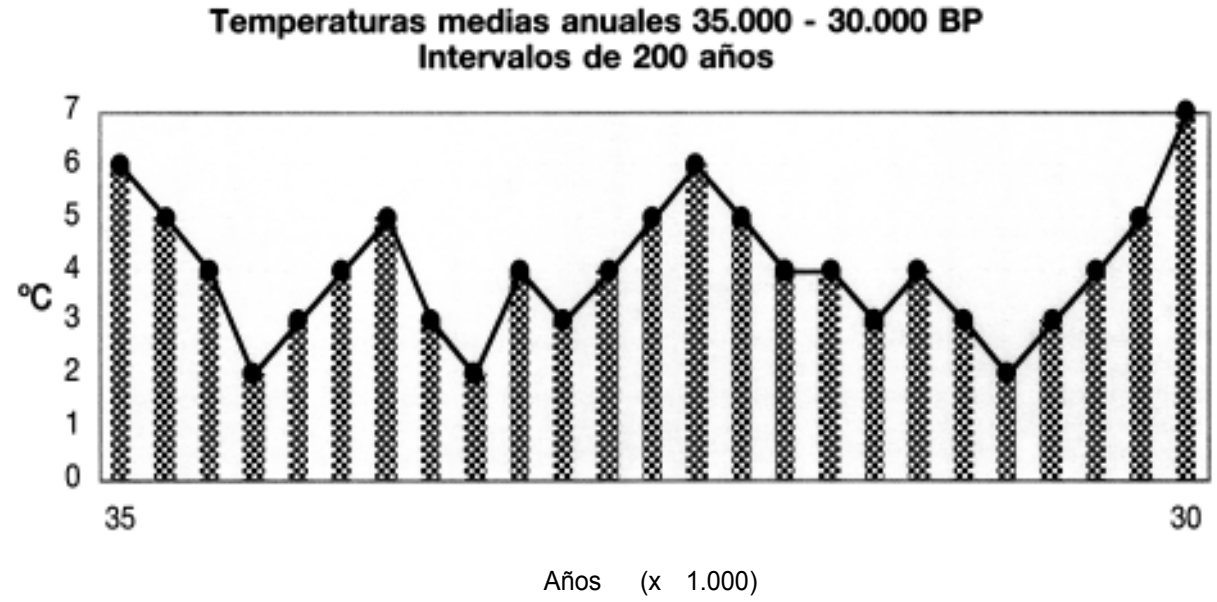


Fig. 28. Evolución hipotética de la curva de las temperaturas medias anuales en intervalos de 200 años.

el balance hídrico en el suelo. Este debe permanecer entre la saturación absoluta (encharcamiento) o la sequedad absoluta. Dicho balance no depende de las precipitaciones sino de una combinación de estas y las temperaturas. Áreas con las mismas precipitaciones pero con diferentes temperaturas pueden tener balances hídricos muy diferentes. En el desierto del Gobi, en pleno verano el suelo se seca y la vegetación paraliza toda su actividad. En plena tundra siberiana, donde las precipitaciones son inferiores a las del desierto mongol, es el centro del verano el único momento en el que es posible esta actividad.

El balance hídrico en un terreno varía dentro de los límites antes mencionados. De una manera similar a las temperaturas, la escala (temporal) será la clave para comprender el fenómeno. Las mediciones isotópicas de los océanos nos dan una variación sobre la temperatura global con respecto a la actual.

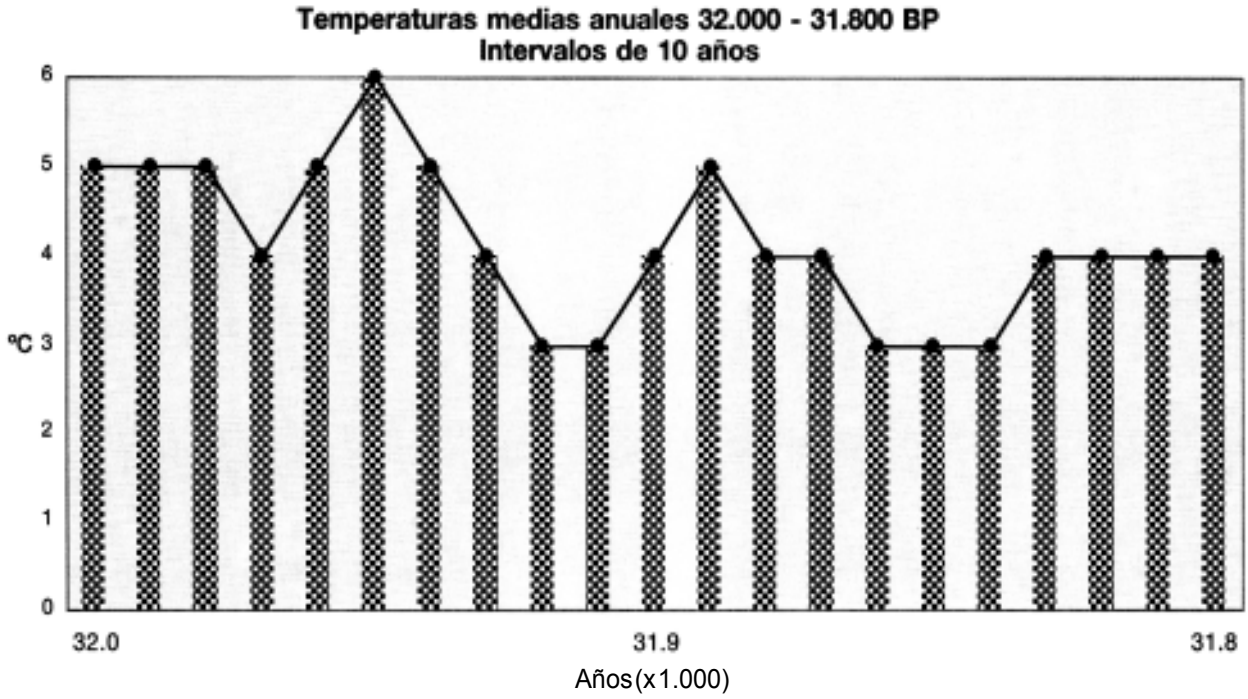


Fig. 29. Evolución hipotética de la curva de las temperaturas medias anuales en intervalos de 10 años.

Sin embargo no nos indica ni las variaciones de la temperatura en períodos más cortos de 1.000 años, ni las variaciones anuales estacionales, ni las precipitaciones.

Los análisis polínicos en turberas nos indican períodos espaciales similares y sólo nos ofrecen una idea del paisaje, no del clima. Los análisis de pólenes en lagos muestran lo mismo (paisajes vegetales) en períodos más cortos. Por último, las muestras polínicas y faunísticas de los estratos de yacimientos arqueológicos proporcionan una información más completa, en períodos más cortos, pero con graves problemas derivados de la mezcla de material en las secuencias continuas.

¿A qué escala nos informa cada uno de estos métodos? y ¿en qué grado, es difícil de delimitar?. Por ello intentaremos buscar modelos en las condiciones actuales que nos puedan servir como referencia.

2. Ecosistemas y límites climáticos.

El ecosistema puede ser definido de varias formas. Para la mayor parte de los biólogos especializados en sistemas ecológicos, un ecosistema es un conjunto de seres vivos que interactúan entre sí y con su ambiente o un sistema de intercambio de materia y energía. La mayoría de los especialistas tienden a considerar la existencia de diversos ecosistemas sobre la superficie terrestre. Su clasificación puede variar de un autor a otro, pero por lo general los factores esenciales para ello son los siguientes:

- Estructura arquitectónica de la vegetación.
- Biomasa media en pie (sobre la superficie del terreno, rara vez se tienen en cuenta las partes subterráneas) sobre un período de tiempo.
- Productividad primaria neta, *PPN,* (tasa de producción media anual del crecimiento de la biomasa).
- Secuencia temporal del crecimiento de la vegetación, dividido en período vegetativo, durante el que se produce la productividad primaria neta y períodos de crecimiento 0 no vegetativos. Este último dato incluye las causas de los períodos no vegetativos, como las bajas temperaturas, nieve, hielo, sequía, etc., ...

Todo ecosistema está delimitado por tres factores. Primeramente y de manera determinante, el clima. El segundo serían las características del terreno (tipo de suelo, inclinación respecto al sol, etc,...). Finalmente, el que define la propia vegetación. Pero siempre será el clima el determinante.

"Los biomas son unidades ecológicas y corresponden a un gran espacio vital con un ambiente determinado (especialmente el mismo tipo de clima) y con una vegetación así como fauna características", (WALTER 1981, p. 6).

"Una comunidad puede ser definida en cualquier tamaño, escala o nivel de la jerarquía de los hábitats. En uno de los extremos, se puede reconocer a escala global las pautas de la distribución de los tipos de comunidades. Un ejemplo de ello lo constituye el bosque temperado... A esta escala, los ecólogos suelen reconocer el clima como el factor predominante que determina los limites de los tipos de vegetación", (BEGON, HARPER, TOWNSED 1988, p. 603).

Por ello, las variaciones climáticas implican una variación de los ecosistemas. Se podría decir que un ecosistema se extiende por un espacio geográfico, dentro de unos límites climáticos concretos. La variación de las condiciones climáticas a largo plazo puede producir una emigración del ecosistema (en áreas tundroides, un aumento de 1°C en la temperatura global del planeta puede hacer avanzar los límites septentrionales del bosque hasta 100 km. En el caso de variaciones a gran escala, estos pueden quedar completamente transformados). Los ecosistemas pueden ser analizados a escalas muy diferentes. En la región holártica sería posible agrupar todos los ecosistemas en dos grupos, los forestales y los no forestales, dependiendo de su estructura arquitectónica.

Un ecosistema forestal es aquel cuya vegetación predominante (superior al 50% de la superficie de terreno) está compuesta por pies derechos de madera de más de 15 metros de altura y cuyas ramas se tocan o entrelazan. En estas comunidades la luz tiene dificultad para llegar hasta el suelo y la biomasa en pie, así como la productividad primaria neta *(PPN)* se producen mayoritariamente a partir de unos metros sobre el nivel del suelo.

Los ecosistemas no forestales son aquellos en los que los árboles o bien son extremadamente raros o bien, siendo abundantes, no cruzan o entrelazan sus ramas, o simplemente no cubren una superficie importante de terreno en forma de bosque. En este caso, la luz llega libremente al suelo y, aunque en algunos casos los árboles formen parte importante de la biomasa, la mayor parte de la *PPN* se genera en los tres primeros metros sobre el suelo, en forma de arbustos e hierbas.

Un ecosistema no forestal puede subdividirse a su vez, por los factores que limitan la formación de bosques, en dos grupos: ecosistemas no forestales por baja temperatura (tundra y vegetación alpina) y los debidos a períodos de sequía (estepas forestales, estepas, subdesiertos y desiertos). Cada uno de estos ecosistemas tiene sus propias características. En el caso de los limitados por sequía, la estepa arbolada es una formación en la que la vegetación arbórea puede aparecer dispersa o formando bosques que no ocupan el 50% de la superficie. La estepa pura se caracteriza porque las gramíneas y otras herbáceas cubren toda la superficie del terreno, siendo los árboles muy raros. El subdesierto es una formación en la que la vegetación herbácea y arbustiva no cubre toda la superficie, mientras que el desierto se caracteriza por la ausencia de vegetación viva durante largos períodos que pueden variar de unos meses a varios años. Cada uno de estos cuatro biomas posee una biomasa y una *PPN* inferiores a los anteriores, siendo el desierto el más pobre.

Incluso las estepas podrían subdividirse a su vez en sub-biomas, en función de la altura de la hierba, de las especies concurrentes en las asociaciones predominantes, de la biomasa y de la *PPN.* La estepa ucraniana puede dividirse de norte a sur y de este a oeste por razones climáticas. Una estepa de pradera de hierba alta, con abundantes plantas con flores, muchas de las cuales aparecen en las praderas templadas centroeuropeas, las praderas de espolín (género *Stipa)* con hierbas no gramíneas de raíz larga, como la centáurea, y por último praderas de ajenjo *(Artemisia).* Cada uno de estos sub-biomas puede delimitarse espacialmente y dentro del espacio donde se producen estas características existen unas variables climáticas dentro de las que el sub-ecosistema mantiene sus particularidades a largo plazo. Cada uno de los diferentes biomas, ya definido, es excluyente, es decir, las características climáticas del espacio donde se desarrolla excluye el desarrollo de las otros y por lo tanto las condiciones climáticas son diferentes y definibles con un elevado grado de precisión.

3. Composición interna de los ecosistemas: el biotopo.

Se ha definido ecosistema como la superficie de un área geográfica, donde determinadas condiciones climáticas crean una comunidad vegetal característica y predominante. Ésta puede ser una asociación vegetal concreta, como los bosques de alerces siberianos y su sotobosque asociado, un agregado de asociaciones, como la estepa arbolada con bosquetes rodeados de estepa de pradera, o bien una asociación de determinadas especies, como la estepa de espolín en base a distintas especies de gramíneas, en la que el género *Stipa* es la más abundante. Estas asociaciones forman la vegetación predominante pero no la única. Es posible encontrar bosques de coníferas en el interior de ecosistemas caducifolios, bosques caducifolios en ecosistemas herbáceos o matorral bajo en bosques mediterráneos.

De este modo especies o asociaciones que en determinadas áreas son predominantes aparecen en otros ecosistemas como excepciones. A estos tipos de asociación se les denomina biocenosis. Un eco-

sistema sería un agregado de dos o varias asociaciones, o bien una superficie en la que una asociación es predominante sobre las demás. En ambos casos las excepciones a la regla del conjunto o agregación de conjuntos predominantes puede deberse a varios factores:

- Alteraciones espacio-temporales.
- Variaciones en la intensidad de la radiación solar,umbría-solana.
- Tipos de suelos, ácidos-calizos.
- Presencia continua de agua (ríos, riachuelos, lagos, turberas, pantanos,...) que da origen a la denominada vegetación azonal (WALTER 1981), o bien escasez de la misma (terrenos calcáreos poco profundos o superficies arenosas o rocosas), de.

Las alteraciones espacio-temporales implican la desaparición de la vegetación natural en un área, durante un tiempo, debido a factores como la sequía, los incendios, inundaciones, huracanes, o cualquier otro. En este caso la vegetación clímax, es decir, aquella comunidad que ocupa el área a largo plazo, es sustituida por otra hasta que la primera se desarrolle nuevamente. No debemos confundir las catástrofes con las frecuentes y repetidas alteraciones que puedan producirse en un territorio. En este caso no se trata de una variación sino de un factor climático más (en Nueva Inglaterra tienen lugar frecuentes huracanes. En las áreas próximas al mar, por lo general, predominan los bosques de pino estrobo. Esta especie, de crecimiento rápido, sustituye al bosque de robles y arces, cuyo crecimiento es tan lento que nunca llegan a desarrollarse entre el paso de un huracán y el siguiente).

El cambio entre umbría y solana es suficientemente conocido, sin embargo hay que hacer notar que las variaciones entre la vertiente norte y la sur de una colina o montaña dependen del marco del clima general de la región en que se encuentre ubicada. Los intentos de explicar, para períodos prehistóricos, las diferencias en los perfiles polínicos mediante razonamientos microclimáticos sin conocer el clima concreto de una zona, son siempre especulativos.

Las diferencias en los tipos de suelo pueden presuponer una variación de las especies o de las asociaciones vegetales sin que las características climáticas hayan cambiado, aunque muchas especies se muestren bastante indiferentes al sustrato.

La existencia de grandes cantidades de agua en ríos, lagos, etc,... es muy importante sobre todo en los ecosistemas secos, donde además de los tipos de vegetación asociados al agua, determinadas especies que en áreas más húmedas ocupan terrenos altos sólo se encuentran cercanas al nivel freático. Es importante que nos demos cuenta de que la presencia de la vegetación puede no depender directamente de las precipitaciones. Pero los ambientes muy húmedos, como las turberas, lagos o ríos, tanto en extensión como en características, sí dependen del clima. Los casos más evidentes son la baja frecuencia de turberas fuera de áreas boreales o montañosas, o la importancia para la vegetación ribereña de la frecuencia de las inundaciones e intensidad de los estiajes de los ríos, los cuales dependen de su régimen, y éste viene dado a su vez y en última instancia, por el clima existente en sus cuencas.

4. Metodología.

a. *Clima y Ecosistema.* Un bosque de alerces siberianos *(Larix sibirica)* en Yakutia podría considerarse como miembro del ecosistema taiga. El bosque en cuestión es un elemento que cumple la regla de formar parte de un ecosistema (el bosque boreal de coníferas) en un espacio dado, bajo unas condiciones climáticas determinadas, con una estructura arquitectónica, una biomasa y una *PPN* concretas. Lo mismo podría decirse para un bosque de hayas atlántico respecto al conjunto de tipos de vegetación del bosque caducifolio al que también pertenecieron los robledales atlánticos, fresnedas, los bosques de abedul, los bosques atlánticos de pino silvestre (que a pesar de no ser un árbol caducifolio forma biotopos en áreas degradadas con suelos ácidos y con las mismas condiciones climáticas), etc. Por tanto, un ecosistema podría definirse como el conjunto de asociaciones vegetales (predominantes, agregadas, secundarias y biotopos asociados) que permanece estable en un área dada y durante un período de tiempo concreto.

La naturaleza se caracteriza por una irregularidad sorprendente en la distribución de la vida, pero la distribución de los principales biomas está bien delimitada y todos los autores coinciden en que, a esta escala, el elemento esencial es el clima. En la figura 30 puede comprobarse las relaciones entre las precipitaciones, la evapotranspiración potencial, el número de días con temperaturas superiores a 0ºC, radiación solar y temperatura media anual con los tipos de vegetación de la región holártica. Estos biomas se caracterizan por poseer un período frío, al menos un mes con temperaturas medias inferiores a 6°C.

Los climas pueden ser analizados, por lo tanto, en función de magnitudes escalares dentro de unos límites máximos y mínimos para cada uno de ellos. Los biomas pueden ser definidos como conjuntos de tipos de vegetación, específicos y estables, en un espacio y durante un período de tiempo. Si los climas determinan los biomas, el conjunto definido como bosque boreal de coníferas estará en función del conjunto de variables climáticas límite, dentro de las cuales se puede encontrar dicho bioma.

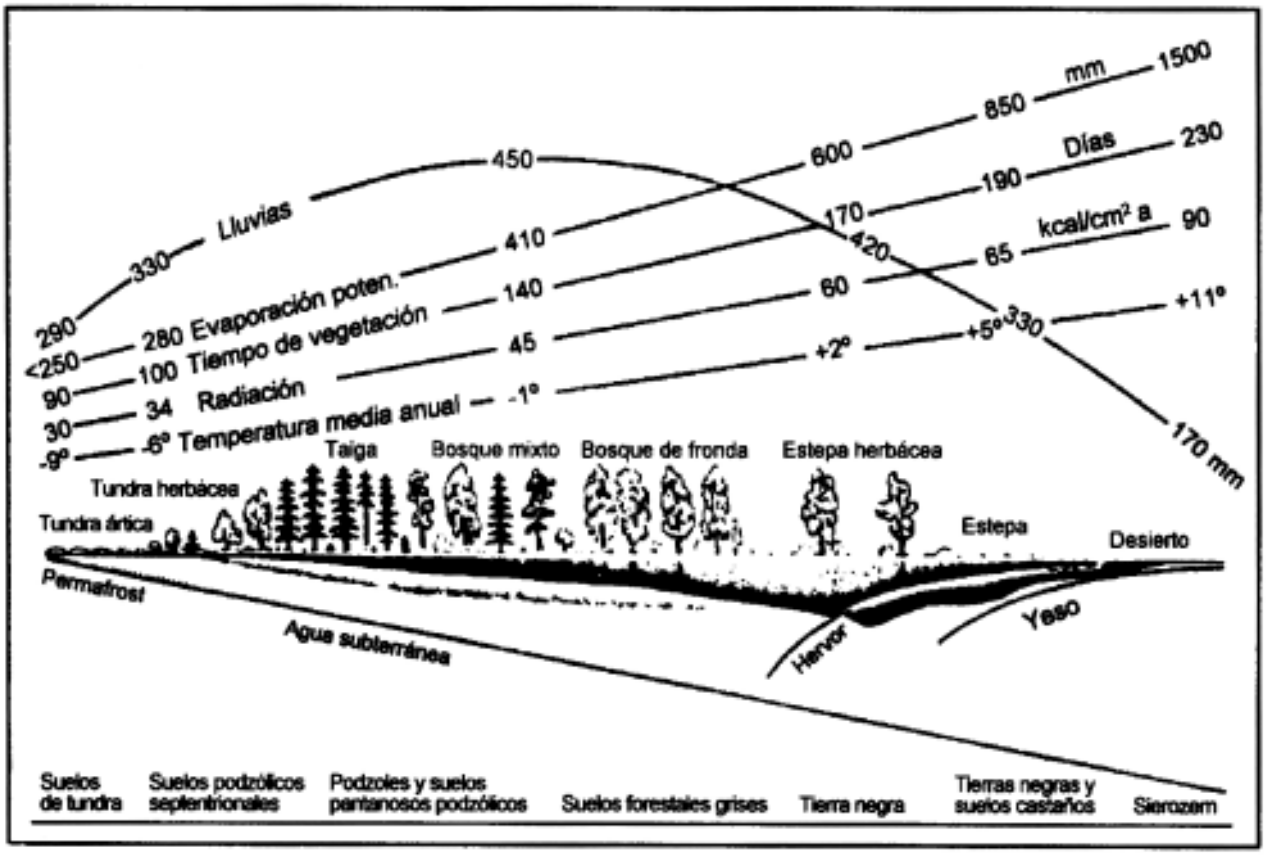
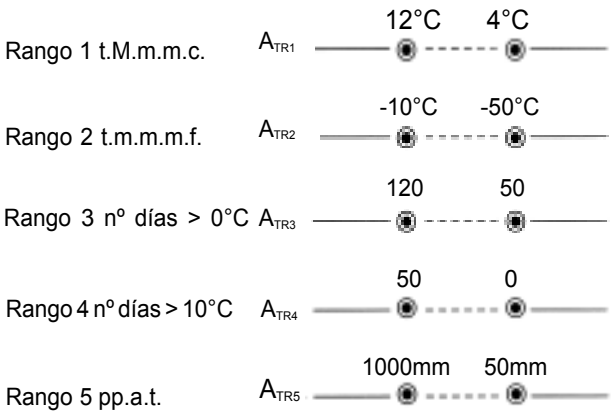


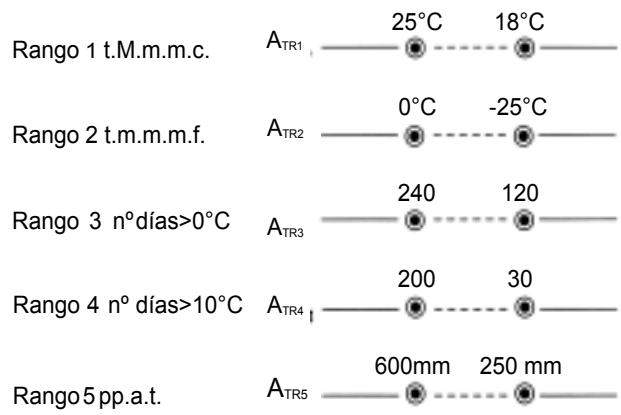
Fig. 30. Esquema de la distribución de los principales biomas de la región holártica a partir de la temperatura media anual y las precipitaciones (SCHENNIKOW, modificado por WALTER 1994, p. 161).

Si definiéramos una serie de magnitudes, por ejemplo la temperatura media en el mes más cálido, en el mes más frío, el número de días sobre 0ºC, número de días sobre 10°C y las precipitaciones anuales totales, las características climáticas de la tundra pura actual serían:



En este caso, para cualquier clima cuyas medias para los cinco rangos antedichos se mantuvieran estables, en un área dada y durante un tiempo largo, si éstas estuvieran contenidas entre los máximos y mínimos arriba indicados el área tendría un ecosistema de carácter tundroide. Esto sin embargo no sucede en la mayor parte de los casos.

Si tomamos los límites para los mismos rangos que delimitan el ecosistema de la estepa eurasiática:



En principio los límites no pueden ser traspasados. Si se traspasaran los superiores estaríamos ante

un bioma tropical o subtropical. Si se traspasaran los inferiores, nos encontraríamos ante unas condiciones que, en la actualidad, no delimitan ningún bioma.

Las condiciones que delimitan una estepa deben permanecer dentro de los intervalos citados pero no entre cualquier relación de los mismos. Si tomamos las temperaturas más bajas y las precipitaciones más altas, el bioma sería forestal. Para que el bioma mantuviera las características esenciales que le definen, la relación entre las precipitaciones y las temperaturas debería ser tal que el grado de aridez impidiera la formación de bosques. Si tomamos los siguientes datos climáticos,

X_{R1}= 20°C
X_{R2}= -7ºC
X_{R3}= 186 días
X_{R4}= 124 días
X_{R5}= 451 mm

se podrá observar que todos estos datos se incluyen en los intervalos límites del conjunto de rangos climáticos que delimitan un punto concreto de la estepa. Imaginemos ahora que tenemos unos datos climáticos para los mismos rangos del siguiente tipo:

X_{R1}= Máximo 21ºC Mínimo 18°C
X_{R2}= " -3°C " -7°C
X_{R3}= " 210 días " 170 días
X_{R4}= " 143 días " 121 días
X_{R5}= " 597 mm " 440 mm

Los límites para cada intervalo permitirían delimitar un área concreta de la estepa. Este análisis permite observar dos elementos esenciales:

- Los conjuntos climáticos y los biomas que les corresponden son determinables y diferentes a cualquier otro. Esto quiere decir que un bosque caducifolio posee unos rangos climáticos diferentes para cualquier otro conjunto de rangos que delimiten otro ecosistema. Cada bioma tiene unos límites relativamente precisos, así como los climas que los caracterizan.

- Relación entre clima y bioma. Si pudiésemos conocer las condiciones climáticas de un área determinada para un período concreto (por ejemplo, 16.000 BP- 14.000 BP) y las medias para una serie de rangos se mantuviesen estables durante todo el período, dentro de los límites para dichos rangos que delimiten un clima y que determine un bioma concreto, podríamos inferir el que dicho bioma existiera y se mantuviera estable para ese área y período, aun cuando nunca pudiéramos verlo directamente. A la inversa, si pudiésemos ver el tipo de vegetación existente en dicho área y período, y éste resultase ser, por ejemplo, un bosque boreal de coníferas, podríamos inferir que mantuvo unas condiciones climáticas que se incluyen dentro del clima que delimita dicho bioma.

V. METODOLOGÍA PARA UN ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LOS ECOSISTEMAS WÜRMIENSES

1. Conceptos preliminares.

Desde el momento en que se establecen las condiciones para el desarrollo de un ecosistema deben cumplirse tres condiciones fundamentales:

- Las medias deben mantenerse estables durante un siglo o más para permitir el desarrollo del ecosistema.

- Las grandes fluctuaciones sobre la media (sequías extremas, inundaciones, períodos inusualmente fríos, etc, ...) que puedan destruir el ecosistema, no deben ser tan frecuentes como para impedir su recuperación.

- Las variaciones suaves sobre la media no deben sobrepasar nunca los límites para los condicionantes climáticos de dicho ecosistema durante mucho tiempo ni de forma frecuente.

El sistema funcionaría como un conjunto de probabilidades. Sería imposible establecer la temperatura o la humedad para un período concreto, pero a largo plazo se cumplirían unas medias estables dentro de unos márgenes espaciales y temporales. Las características pueden variar dependiendo de la escala a la que se analicen. En un período de tiempo corto podrían ser muy aleatorias, pero nunca a largo plazo.

Podemos decir exactamente lo mismo para la vegetación. Sobre un mapa un bioma como la estepa sería un inmenso mar de herbáceas de muy diversas familias que cubrirían una superficie enorme. A menor superficie podríamos encontrarnos con una pradera de artemisas. Y paseando por ella, por ejemplo a orillas de un río, podríamos encontrarnos con un bosque caducifolio de galería.

Cada uno de los métodos climáticos debe definir, por principio, la escala en que se refleja la realidad que se pretende medir, tanto espacial como temporal. Sin esta definición previa, todo intento por comparar los resultados de métodos cuyas escalas de representación de la realidad (grado de resolución) sean diferentes, podrá ser erróneo.

2. Definición de espacio para datos paleoclimáticos partiendo de un lugar concreto.

Los datos paleoclimáticos inferidos a partir de un análisis polínico-faunístico, de isótopos o cualquier otro, proceden siempre de un lugar concreto, como un yacimiento arqueológico, una turbera, un sedimento marino en un punto del océano, etc... Los da-

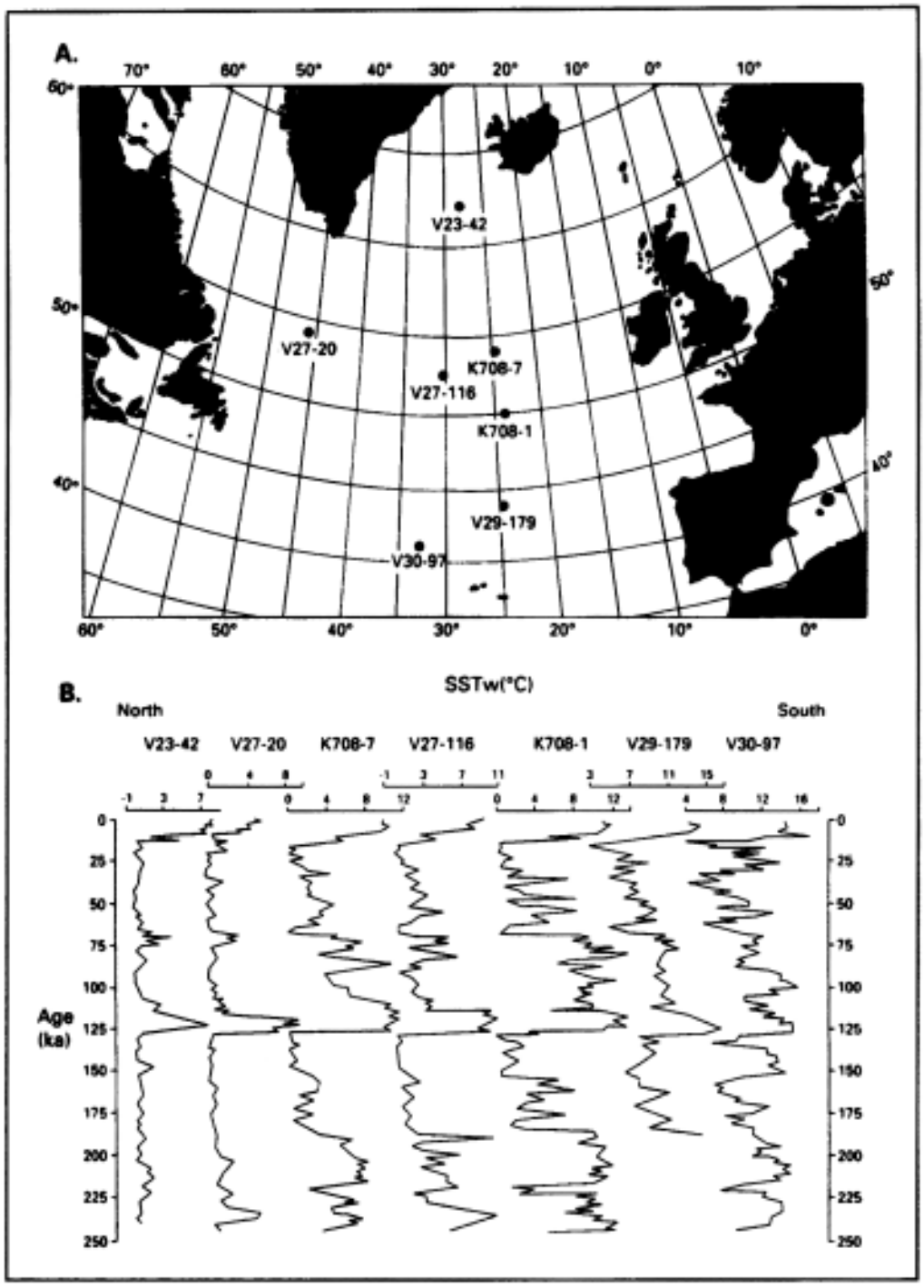


Fig. 31. Cambios en las temperaturas en torno a los últimos 130.000 años estimadas en los sondeos (A) realizados en el Atlántico Norte (RUDDIMAN 1987, en LOWE y WALKER 1997, p. 335).

tos analizados, como conjuntos faunísticos, curvas polínicas u otros, reflejan las características del fenómeno que los produjo en un área concreta.

Las características de los análisis isotópicos de los sedimentos marinos reflejan el grado de relación entre O^{16}/O^{18}. En principio reflejaría las variaciones de la temperatura global del planeta (figura 31). Sin embargo es posible observar que las variaciones de las curvas isotópicas de las columnas sedimentarias situadas por encima de los 60º de latitud norte (V23-42) son mucho más tenues y menos marcadas que las cercanas al paralelo 40º. Evidentemente, en este caso, la escala es latitudinal. Podría considerarse que o bien las aguas polares han sufrido variaciones menores de temperatura, o bien, por alguna razón, reflejan peor dichos cambios. El resultado es que, aunque las variaciones sean globales, el lugar donde se realice el análisis implica una variación del grado de precisión.

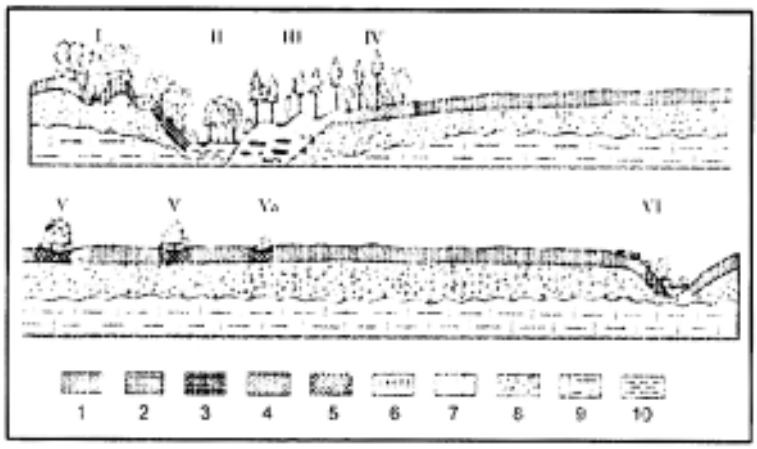


Fig. 32. Relación entre la vegetación, el suelo y el relieve en un paisaje de estepa arbolada (TANFILIEV y MOROSOV, modificado por WALTER 1994, p. 159). 1. Tierra negra profunda con estepa de pradera. 2. Tierra negra degradada. 3. Suelos forestales de color gris oscuro, sin drenaje. 4. Suelos forestales arenoso-arcillosos permeables. 5. Suelos forestales de color gris claro. 6. Solonez sobre terrazas planas o entorno a depresiones sin drenaje y con acumulación de sosa. 7. Arenas fluvio-glaciales, 8. Sedimentos de carácter morrénico o arcillas de tipo loess. 9. Estratos preglaciales. 10. Aluvión de valle fluvial.
I. Bosque de robles sobre elevaciones bien drenadas o en ladera. II. Bosque de ribera (roble, etc.). III. Bosque de pino silvestre sobre suelos pobres con turbera de esfagnos en las depresiones húmedas. IV. Bosque de pino silvestre y roble sobre arcillas. V. Bosquete de álamos temblones en pequeñas hondonadas que acumulan agua en primavera. V_a. Lo mismo mas sauces. VI. Bosque de robles de depresión, con matorral estepario en la zona superior.

En caso de análisis polínicos, el proceso es todavía más claro. Grande Pile podría reflejar en períodos interglaciales un bosque mixto caducifolio de robles, arces, carpes, hayas y pinos silvestres, o bien una serie de bosques diferenciados por áreas, que al depositar su polen en la turbera aparecen juntos, sin posibilidad de diferenciación. Los pólenes de un nivel sedimentario en cueva reflejarían la asociación vegetal de un pequeño biotopo. La escala espacial en la que ambos tipos de vegetación queda reflejada en estos dos tipos de "recipientes" sedimentarios sería diferente, lo que no significa que las curvas polínicas tengan que serlo. Grande Pile se sitúa a 320 metros de altura, al suroeste de los Vosgos, cerca del curso del Ognon. Actualmente se encuentra en el interior de una variante (subecosistema) del bioma bosque caducifolio, el bosque de roble-carpe europeo. Éste está compuesto por los siguientes tipos de vegetación, en orden de importancia: sobre suelos grises profundos, robles-carpes-arces; sobre suelos ácidos lavados, más raros, roble-carpe; sobre, los aún más raros, suelos arenosos, haya-roble. A escasos 15 km. al noreste, en dirección al macizo de los Vosgos, el sub-bioma anterior, es sustituido sobre un suelo silíceo por haya-olmo y a partir de 500 m de altitud por abeto acompañando a los anteriores; más arriba, a unos 40 km, sobre suelos ácidos haya y abedul, y unos 20-25 km al suroeste, sobre terreno calizo y loess, un bosque de haya-roble albar-fresno-olmo, con tejo en el estrato inferior *(Map of the Natural Vegetation,* 1987). En teoría, un nivel "actual" de Grande Pile debería representar todas estas especies (en cuanto a género) con roble, carpe y haya como los más abundantes. Sin embargo, un abrigo, sólo 40 km Ognon arriba, nos proporcionaría polen de haya y abeto, puesto que estaría inmerso en este tipo de Vegetación.

Para los restos de fauna, la situación podría ser similar, con la diferencia de que en niveles con restos óseos, ya sean arqueológicos o paleontológicos, diferirían en la representación entre macromamíferos, mucho más móviles, ya que individualmente necesitan territorios mayores, y micromamíferos, a nivel más local.

Imaginemos una región de estepa arbolada, figura 32. Los distintos biotopos permiten la existencia de comunidades vegetales diferentes. La vegetación predominante es la estepa de pradera. Una turbera como Grande Pile o Les Echets, marcaría una gran cantidad de polen de gramíneas, baja proporción de *Pinus,* especie de elevada polinización, robles y sauces, junto a la vegetación asociada a ellos, entre ella *Corylus.* Evidentemente, una cueva situada en una vega fluvial indicaría una vegetación muy diferente, con muchos más árboles.

Aun cuando el biotopo se incluya en el bioma, este no tiene que tener la misma composición. Así mismo, los micromamíferos de un nivel sedimentario reflejan un ambiente más detallado que los macromamíferos del mismo.

3. Definición de tiempo para datos paleoambientales.

Una fecha no está situada con respecto a las demás en un grado de certeza, sino en una posición exacta que se corresponde a la recta ideal de los números reales. El 0 en el centro (nacimiento de Cristo), a la izquierda los números negativos y a la derecha los positivos. Los datos paleoecológicos, sin embargo no pueden situarse sin más en un punto sobre una recta. Un nivel sedimentario no tiene fecha, ésta debe inferirse indirectamente. Existen cuatro modelos básicos para analizar el período durante el cual se forma un conjunto sedimentario:

- El conjunto más antiguo es el que está más abajo en la sucesión.

- Varios niveles de un yacimiento se corresponden con otros de otro yacimiento distinto en sus características geológicas esenciales.

- Las fechaciones de medida absoluta, C^{14}, para tiempo reciente.

- La comparación de culturas arqueológicas de distintos yacimientos.

La cronología de los distintos conjuntos aparece movida respecto a su cronología real, tanto a nivel absoluto como relativo. A nivel absoluto toda fecha de $C1^4$ implica un momento y un margen de error añadido. Esto es falso. Un sedimento en cueva, turbera, lago o cualquier otro, tiene dos fechas, una de inicio y otra final dentro de las cuales el conjunto se formó. Las medidas de $C1^4$ implican una fecha única producto del análisis de restos biológicos, recogidos en muchas ocasiones al azar de entre los restos de este tipo procedentes del interior de una unidad sedimentaria. El margen de error es simplemente eso, un margen porcentual del grado de certeza con que se mide, no la fecha media de formación del sedimento, sino del momento medio de la muerte del conjunto de restos biológicos analizados.

En turberas, lagos, sedimentos marinos y capas de hielo, la presión de los estratos superiores hace que los inferiores sean más finos, disminuyendo hacia abajo el grado de resolución temporal. En los niveles arqueológicos, la comparación de los artefactos fabricados por el hombre puede utilizarse como medio de comparación de los distintos conjuntos. Sin embargo, según nos alejamos en el tiempo la homogeneidad a largo plazo de los conjuntos es mayor (aunque en ocasiones puedan ser heterogéneos a corto plazo), por lo que la comparación reduce progresivamente el grado de certeza. En el Tardiglacial de la zona cantábrica, la sucesión del Magdaleniense es bastante clara: Magdaleniense inferior sin arpones, medio con protoarpones, superior-final con monolaterales y/o bilaterales y Aziliense con arpones planos. Durante el Solutrense aún puede seguirse un cierta sucesión de las grandes piezas líticas de retoque plano. En el Paleolítico superior inicial, la sucesión se complica. La tradición de retoque plano con azagayas (Auriñaciense) y de retoque abrupto sin ellas (Perigordiense) no está nada clara. En el Musteriense, e incluso en el final del Paleolítico inferior, los tipos de útiles líticos sobre lasca se repiten continuamente, variando solamente las frecuencias. La relación porcentual entre los distintos tipos no parece poseer una sucesión cronológica clara. El resultado es que todo análisis cronológico disminuye su grado de certeza conforme nos movemos hacia atrás en las columnas sedimentarias. Con el fin de analizar una sucesión mínimamente fiable, es absolutamente necesario que dichas columnas sean claras. Los conjuntos arqueológicos definidos a partir de ellas poseen una sucesión tipológica con coherencia cronológica. Las fechas de C^{14} o de cualquier otro método de datación han de ser coherentes con la posición de las culturas definidas en cada nivel.

El mejor método es el sistema utilizado por J. GASCO (1985). Este consiste en situar las dataciones de radiocarbono y su desviación típica en la escala corregida, de tal manera que exista un 97% de probabilidades de ser reales, y construir husos cuyo grosor dependerá de la cantidad de fechas que se solapen entre ellas (a mayor número de fechas y sus desviaciones típicas solapadas mayor grosor tendrá el huso). Los husos son de dos tipos, rayados o no. Los primeros indican fechas coherentes estratigráficamente (más antiguas según se desciende en profundidad), los segundos indican fechas invertidas respecto a la estratigrafía. Basta una mirada superficial para percatarse de que allí donde los husos alcanzan el grosor máximo para cada cultura jamás se produce solapamiento con otra en la misma situación. En ocasiones las fechas de una cultura se solapan con el máximo de otras. De esta forma, varias fechas correspondientes al Magdaleniense superior pueden aparecer solapadas con el grueso de las Azilienses, mientras otras lo hacen con el Magdaleniense medio. Esto sucede en mucho mayor grado con las dataciones invertidas (husos en blanco), en ocasiones repartidas por toda la secuencia, como algunas del Magdaleniense inferior.

El sistema de husos permite calibrar el grado de "corrimiento" sobre los valores reales de una fecha dada en un nivel. El elevado solapamiento de fechas para un conjunto de niveles, en los que es posible reconocer restos de una misma cultura, indica una elevada probabilidad de que en los márgenes máximo y mínimo de dicho período se encuentre el momento cronológico en el que se desarrolló dicha cultura. Si se elimina el resto de fechaciones, el resultado es una secuencia cronológica de la sucesión de las distintas culturas coherente con su posición estratigráfica (figura 33).

Una vez determinado un conjunto de niveles bien diferenciados, si la cultura arqueológica y su datación absoluta, son coherentes con los husos de alta certeza para dicha cultura, los datos paleoclimáticos inferidos de dicho nivel podrán ser comparados con otros datos de niveles semejantes. Estos niveles, bien situados cronológicamente, serán los conjuntos de referencia para toda comparación ulterior en un área dada. Los niveles arqueológicos de estratos bien definidos cuyas dataciones absolutas no poseen incoherencias graves (que no sean totalmente

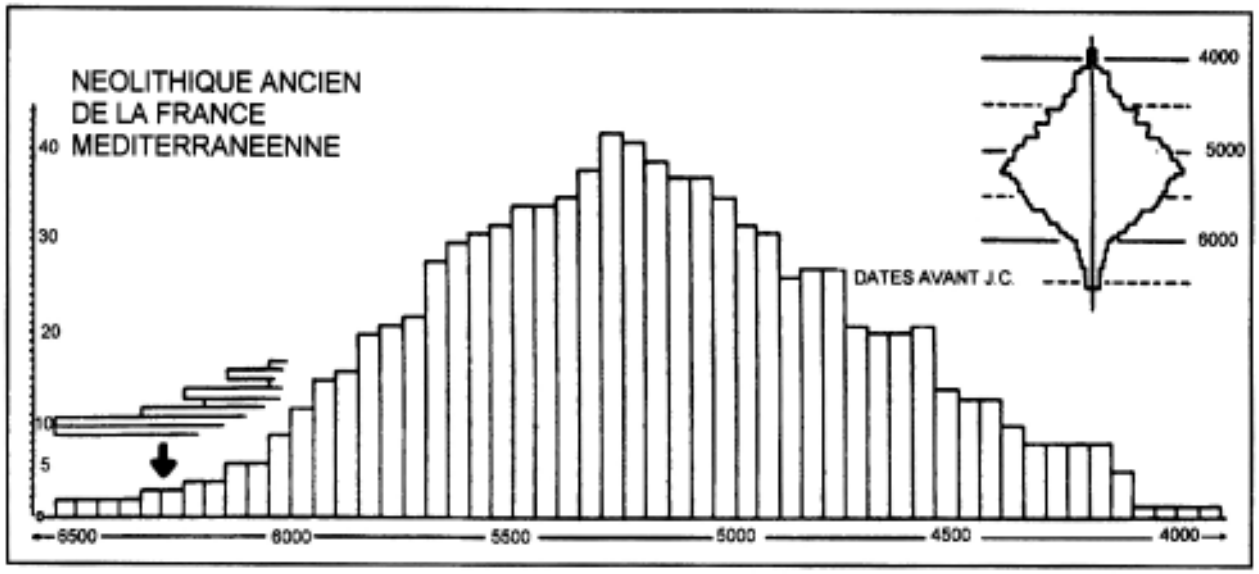


Fig. 33. Ejemplo de histograma acumulativo de dataciones de radiocarbono para el Neolítico antiguo en Francia (GASCO 1985).

aberrantes o tengan inversiones respecto a la columna estratigráfica) pero cuyas culturas arqueológicas no sean totalmente definibles, serán comparadas con los niveles anteriores que correspondían a su misma cronología, siempre y cuando los datos arqueológicos no sean incompatibles.

En el caso de conjuntos bien definidos arqueológicamente, pero con fechas no coherentes, los niveles serán comparados con aquellos que correspondan a sus características culturales. Los conjuntos de referencia a escala regional, turberas, sedimentos marinos, etc... sólo podrán compararse con los resultados totales inferidos a partir de yacimientos arqueológicos y paleontológicos en el área que representen.

VI. ANÁLISIS DE DATOS PALEOCLIMÁTICOS. METODOLOGÍA BÁSICA

1. Datos climáticos a partir de análisis polínicos y faunísticos.

Partimos de la siguiente premisa: todo ecosistema es un conjunto de seres vivos, conviviendo y reproduciéndose en un espacio geográfico dado. Las relaciones entre las especies con su ambiente físico y las interrelaciones entre ellos, dentro de un sistema de intercambio de materia y energía, son sus características básicas. Las interrelaciones esenciales podrían definirse de la siguiente manera, figura 34.

Sobre un espacio geográfico se crean unas condiciones climáticas dadas. En principio todo ser capaz de vivir y reproducirse de manera estable dentro de esas condiciones puede vivir en ellas. La jerarquía implica que, sobre cualquier punto puedan darse unas determinadas especies en unas condiciones climáticas que se mantengan estables durante un tiempo.

La segunda jerarquía implica las relaciones entre las distintas especies. En principio ésta incluiría un conjunto de productores primarios (plantas verdes), un conjunto de consumidores (animales) y otro de descomponedores (esencialmente plantas inferiores y bacterias). Cada bioma tendría un conjunto de plantas verdes (características) y un conjunto de consumidores y descomponedores. Las especies no encuentran en el ambiente (suelo y clima) sus únicos límites de existencia. La competencia entre miembros de la misma especie (competencia intraespecífica) y entre animales de especies diferentes (competencia interespecífica) puede eliminar especies que, en ausencia de competidores, podrían vivir en un ambiente dado.

Las variaciones en el clima pueden ser tales que alteren un ecosistema. Si el cambio climático es grande y sobre un espacio concreto se sobrepasa el límite climático en que un ecosistema determinado puede existir, éste se transforma en otro, produciéndose un cambio en las especies, desapareciendo unas e incorporándose otras, así como los cambios en las relaciones entre las mismas. Un ecosistema estable puede variar con el tiempo. Un bosque de hayas puede dar paso a uno de robles, si se reducen las temperaturas invernales por debajo de -2°C en el mes más frío. Esto no significa que el bioma haya cambiado, ya que ambos son bosques caducifolios y comparten una misma estructura vegetal.

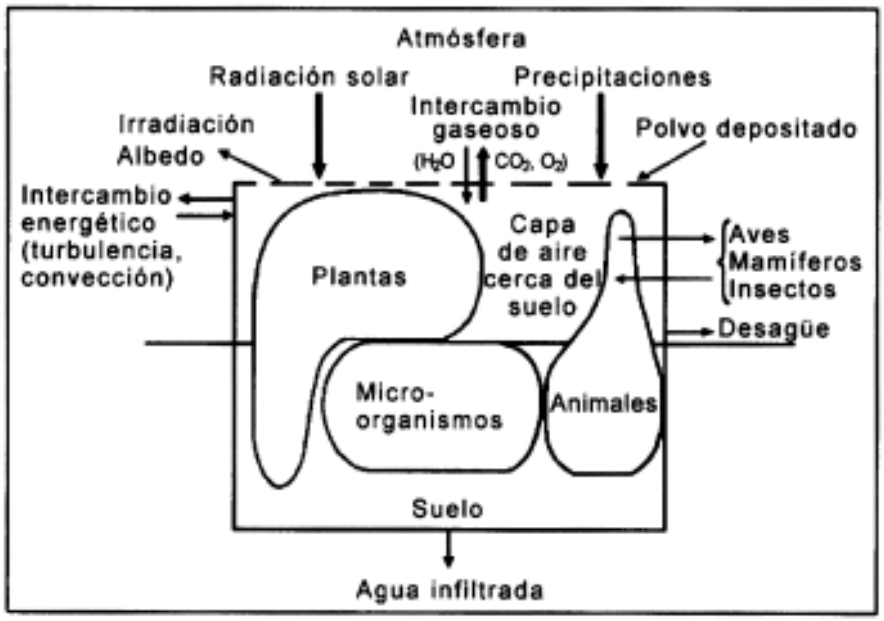


Fig. 34. Esquema de un ecosistema en intercambio con el medio ambiente (WALTER 1981).

Un ecosistema es, por tanto, el producto de un equilibrio inestable. Las condiciones pueden variar, pero mientras se mantengan los elementos esenciales el ecosistema no cambiará. Si la evapotranspiración superficial aumenta por encima de lo que los árboles pueden soportar, el ecosistema se transformará en una estepa o sabana. Este ecosistema es totalmente diferente al anterior, por lo que habrá traspasado el umbral de los límites climáticos del bosque. Toda sucesión entre ecosistemas funciona así, como un equilibrio meta-estable, en el que un equilibrio inestable cambia de manera progresiva hasta el umbral en el que se alcanza otro equilibrio inestable diferente. En el cambio unas especies desaparecen. Unas, las que están en el límite de su capacidad, desaparecen muy rápido, otras cuando el ecosistema ha variado en un grado muy elevado. Algunas pueden no desaparecer, pero tanto su densidad como distribución quedan alteradas. También puede suceder lo contrario, la aparición de nuevas especies por procesos similares. La sucesión de la aparición de nuevas especies es secuencial. Tras el cambio de clima tiene lugar el avance de las especies vegetales y posteriormente el de las animales. Un ejemplo sería:

Clima de bosque caducifolio → bosque de robles-carpes → lirón gris y muscardino común

La transformación de un ecosistema en otro no implica que todas las especies que pudieran vivir en éste último lo hagan. Es posible que una especie (animal o vegetal) no pueda trasladarse hasta el nuevo área debido a condicionantes geográficos (agua, orografía, etc ...) o ecológicos (ecosistemas interpuestos). La presencia o ausencia de una especie concreta depende, en un elevado grado, tanto de las características del área (climáticas y ecosistémicas) como de un proceso histórico que selecciona los posibles elementos presentes.

En turberas y lagos extensos, cada centímetro implicaría un período entre 50 y 300 años. El área de captación polínica sería una región de varias decenas de kilómetros cuadrados, mayor cuanto más grande fuera la superficie del lago o turbera. La vegetación estaría representada en proporción inversa a la distancia del área de sedimentación. En una cueva cada nivel sedimentario tendría un reflejo en períodos cortos (10 ó menos, veces más cortos) de una área de 500 m de radio, con fuerte representación del área inmediata a su entrada. Una curva polínica, de más del 70% de p.a., representaría un área forestal (coníferas, caducifolias u otras) en la zona espacio-temporal dada. Por debajo del 30% sólo podremos decir que el área no es forestal. Para un mismo área, los análisis en cueva contemporáneos o contenidos durante el mismo período de tiempo que un análisis en lago o turbera deberá cumplir la condición de pertenecer al mismo ecosistema.

En el caso de análisis faunísticos se analizará, por separado, los macromamíferos y los micromamíferos de yacimientos tanto antrópicos como paleontológicos. Los conjuntos de especies que aparecen juntas en varios niveles contemporáneos en un área dada se consideran como cohabitantes en ese área. No es necesario que todos esos niveles presenten las mismas especies puesto que, como vimos, el hecho de que una especie esté presente no significa que se haya sedimentado. Los macromamíferos se consideran como representantes de un área regional (unos 40 km de radio alrededor del yacimiento) mientras los micromamíferos se consideran dentro de un área local (5 km).

Es necesario hacer comprender que un conjunto de restos será fiable si y sólo si una especie está presente en varios niveles en grado de proporción similar con respecto a los demás. Si una especie es porcentualmente muy abundante en un nivel y muy rara en un nivel suprayacente o infrayacente, no separado por niveles estériles, la posibilidad de que los restos escasos procedan de estos últimos es alta. En caso de restos muy escasos, menores al 5%, de una especie de macromamíferos en un área cercana o inferior a 100 km, a otra donde la especie es abundante, es posible su transporte antrópico. No es este el caso de los micromamíferos, donde en caso de una presencia inferior al 1% de restos de una especie sin que ésta aparezca en los niveles infrayacentes o suprayacentes, se considera que dicha especie es contemporánea a la formación del nivel puesto que la posibilidad de intrusión es muy baja.

En todos estos casos se considerará que el conjunto de las especies presentes en un estrato reflejan su presencia en las áreas indicadas y se considera que ni el ecosistema y su clima asociado, ni la competencia intra o interespecífica han eliminado a cada una de las especies reconocidas.

2. Inclusión de datos paleoclimáticos en climas actuales.

a.- *Faunísticos:* toda especie de mamíferos, aves, reptiles y anfibios posee un territorio relativamente bien conocido (los territorios de insectos, moluscos y otros invertebrados carecen en muchos casos de tal precisión). Se puede asegurar que dentro del área en que una especie vive actualmente, ésta mantiene una población estable que no se ve afectada por factores ambientales ni de competencia. Teóricamente podríamos decir que toda comunidad animal que habita un territorio está adaptada a éste. Los biomas, subecosistemas o biotopos en los que una especie puede vivir están limitados directa o indirectamente por el clima. Las condiciones en que dichas especies viven en un área concreta cumplen unos parámetros climáticos medios durante un período dado. Si la asociación en este área es contemporánea, dichas condiciones son medibles. Si la asociación es fósil no podemos acceder a dichas condiciones. Tan sólo podemos decir que las condiciones del área concreta para dichas especies implica que:

- Todas las especies presentes conviven en el áreadada.

- No necesariamente todas las especies cohabitantes en el área están presentes en el nivel sedimentario.

- Las condiciones climáticas durante la sedimentación del nivel al que pertenecen esas especies fueron estables durante el tiempo en que se produjo dicha sedimentación.

- Los parámetros climáticos delimitan directa o indirectamente las condiciones ecosistémicas del área.

Los rangos climáticos que definían el ecosistema de un área deberían permanecer estables dentro de los límites para dichos parámetros en que todas y cada una de las especies pueden convivir.

Definamos 5 parámetros:

R_1 = Temperatura media en el mes más cálido

R_2 = Temperatura media en el mes más frío

R_3 = Número de días con temperaturas superiores a 10°C

R_4= Número de días con temperaturas inferiores a 0°C

R_5 = Precipitaciones anuales totales

Todos los mamíferos tienen, en la actualidad, unos límites máximos y mínimos para cada parámetro, dentro de los cuales se halla su distribución actual. Si tomásemos tres especies de micromamíferos, *Microtus oeconomus, Microtus gregalis* y *Sorex araneus;* cada una posee unos límites máximo y mínimo diferente para cada parámetro. Tomando el parámetro 1 (temperatura máxima en el mes más cálido) y comparándolo en las tres especies, si encontráramos una banda en la que coincidieran los tres, ésta sería la banda de convivencia para las tres especies en dicho rango.

En esencia, se trata del método de HOKR pero utilizando parámetros climáticos que nos permitan delimitar un clima, y no simplemente una mayor o menor aridez o temperatura anual. Los límites para las especies incluirían los máximos y mínimos de toda su distribución actual, similares esencialmente a los utilizados por BROCHET. Las especies serán tomadas únicamente por su presencia o ausencia (salvo en caso de que se presuman intrusiones. Como vimos, el porcentaje de restos no necesariamente representa la densidad en la que la especie está presente. Los límites para cada especie y parámetro se representarán mediante gráficos, de manera que nos permitan delimitar esas bandas (figura 35).

El nivel 5 del yacimiento de Erralla(1) es uno de los mejor estudiados dentro del área cantábrica. Los micromamíferos y macromamíferos presentes en dicho nivel poseen unos límites climáticos para los cinco rangos que, siguiendo la regla anterior nos darán los siguientes límites:

(1) Todos los datos acerca de los yacimientos citados a continuación no son en absoluto definitivos. Solamente se utilizan a modo de ejemplo.

	Micros	Macros
R_1 =	18- 15	18 - 16
R_2=	-10	-5 - -13
R_3 =	180 - 100	180
R_4 =	180 - 120	120
R_5=	600 - 400	1000 - 400

Si para todas las especies se puede delimitar una banda de convivencia común para los cinco parámetros, podemos decir que el conjunto de dichas bandas implica los límites climáticos para ese nivel durante el tiempo de su formación, en este caso un Magdaleniense inferior Cantábrico fechado por C^{14} en 15.740 BP y 16.200 BP, con un margen de error de 240 años.

En el caso de niveles contemporáneos de diferentes yacimientos, si las bandas de convivencia deducidas de sus faunas son coincidentes entre ellas delimitarán los márgenes climáticos del área donde se encuentren.

Los yacimientos de La Riera (niveles 17-20) y Ekain (nivel 7) poseen las mismas fechas y atribución cultural que el nivel 5 de Erralla. Los restos faunísticos indican los siguientes intervalos:

Micromamíferos

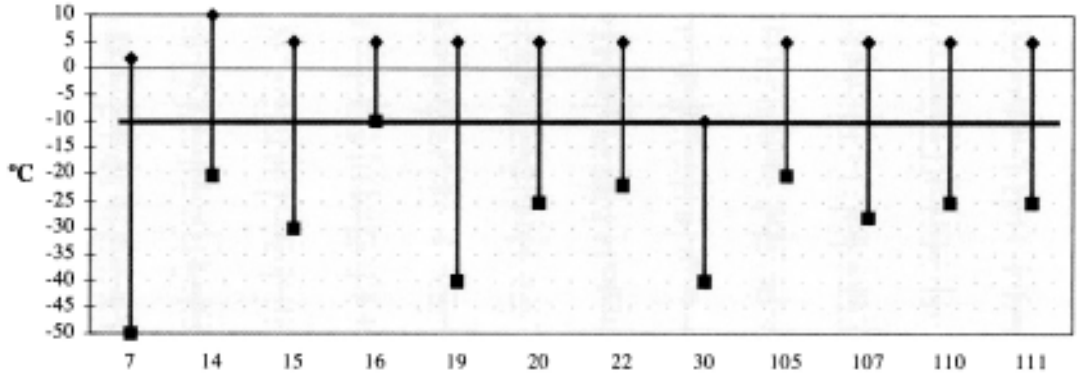
LA RIERA	EKAIN
R_1= 18- 13	R_1= 18- 13
R_2= 5 - -20	R_2= 2- -15
R_3= 180- 30	R_3= 180- 3
R_4= 200- 90	R_4= 180 - 120
R_5= 2500 - 300	R_5 = 2000 - 400

Macromamíferos

LA RIERA	EKAIN
R_1= 18- 16	R_1= 18- 16
R_2= -3- -13	R_2= -3- -13
R_3= 210- 80	R_3= 210- 80
R_4= 180- 90	R_4= 180- 90
R_5 = 2000 - 400	R_5 = 2000 - 400

Como podemos apreciar, todos los rangos para todos los intervalos obtenidos de los conjuntos faunísticos de los niveles del Magdaleniense inferior Cantábrico para los mencionados yacimientos son intersecciones o subconjuntos que coinciden en los siguientes límites:

ERRALLA 5, Rango 2 Bc media -10



Especie	Temp. Máx ºC	Temp. Mín.ºC
Microtus oeconomus (7)	2	-50
Apodemus sylvaticus (14)	10	-20
Microtus agrestis (15)	5	-30
Pitymys subterraneus (16)	5	-10
Arvicola terrestris (19)	5	-40
Microtus nivalis (20)	5	-25

Especie	Temp. Máx ºC	Temp. Mín. ºC
Microtus arvalis (22)	5	-22
Microtus gregalis (30)	-10	-40
Talpa europaea (105)	5	-20
Sorex minutus (107)	5	-28
Sorex araneus (110)	5	-25
Neomys fodiens (111)	5	-25

Fig. 35. Gráfico con los límites climáticos de los micromamíferos del nivel 5 de Erralla y, en línea más gruesa, la banda de convivencia. Más abajo su tabla de valores. Rango 2 (temperatura media en el mes más frío).

R_1= 18 - 16
R_2= -10
R_3= 180
R_4= 120
R_5= 600 - 400

Si para todos los niveles de un área se deducen unos límites durante un tiempo, y para otra serie de niveles de los mismos yacimientos u otros del mismo área, pertenecientes a un tiempo diferente, alguno o todos los rangos no forman bandas entre ellos, en el área geográfica a la que dichos yacimientos pertenecen se habrá producido un cambio climático entre ambos períodos.

El nivel 3 de Erralla se considera un Magdaleniense final, con fecha 12.310 BP. Los niveles 3,4 y 5 de Ekain se consideran Azilienses con fechas bastante confusas, de 12.750 BP, 9.460 BP y 13.350 BP respectivamente. La Riera, en sus niveles 25 al 28 del final del Magdaleniense-Aziliense, se fechan entre el 14.760 BP, demasiado antigua; el 10.630 BP, demasiado moderna y el 12.270 BP, cercana a las anteriores. Por último, la cueva de Laminak II, en la parte superior del nivel 2, da una fecha de 11.700 BP para un material considerado o bien Magdaleliense final o bien Aziliense. Los datos para estos niveles son:

Micromamíferos

	ERRALLA	EKAIN	LA RIERA	LAMINAK II
R_1=	18 - 16	18- 16	18- 13	18- 15
R_2=	-2 - -5	-2 - -15	5 - 10	2 - -15
R_3=	80 - 30	90 - 30	130 - 30	160 - 30
R_4=	180 - 150	300-150	180-130	180 -120
R_5 =	2000 - 500	2500 - 500	2000 - 500	2000 - 400

Macromamíferos

	ERRALLA	EKAIN	LA RIERA	LAMINAK II
R_1=	18- 16	18	18	18
R_2=	-5- -13	3- -13	-3- -13	-3- -13
R_3=	180 - 80	180 - 80	180 - 80	180 - 80
R_4=	180-100	180-120	180 - 90	180-120
R_5 =	2000 - 400	2000 - 400	2000 - 400	2000 - 400

Evidentemente se vuelve a cumplir la regla anterior, pero los resultados son diferentes:

R_1= 18
R_2= -5
R_3= 90-80
R_4= 180-150
R_5= 2000 - 500

Todo ello implica un cambio climático entre ambos períodos. En el caso de que una asociación faunística perteneciente a un área, en un nivel de un yacimiento, en el que para todos o alguno de los parámetros no hubiese entre dos o más especies bandas de convivencia comunes, sólo podría deberse a dos factores: la mezcla de materiales no coetáneos en el sedimento, o la convivencia en dicho período de especies que actualmente no lo hacen. Como vimos, este era uno de los grandes problemas de los métodos de HOKR y sus derivados.

Actualmente *Microtus arvalis* no vive en ningún área donde el número de días con temperaturas medias iguales o superiores a 10°C sea inferior a 90; *Dicrostonyx torquatus* no lo hace en ningún lugar donde, para el mismo parámetro, se superen los 50 días. Supongamos que nos hallamos ante tres áreas geográficas, A, B y C, situadas al norte (A), al sur (C) y en una zona intermedia (B). Si en A y B aparece *Dicrostonix torquatus,* pero no en C, la aplicación del método implicaría que la frontera entre el área B y C sería el límite de los 50 días, con una temperatura media superior a 10ºC, siendo menor hacia el norte y mayor hacia el sur. Aplicando el mismo modelo, la aparición de *Microtus arvalis* en B y C supondría que el límite de los 90 días con más de 10°C se situaría entre las áreas A y B.

A *Dicrostonix torquatus* — 90 días

B *Dicrostonix torquatus* / *Microtus arvalis* — 50 días

C *Microtus arvalis*

Durante Dryas I, en el área A (sur de Inglaterra, norte de Bélgica), jamás aparece *Microtus arvalis.* En el área C (sur del Loira, oeste del Macizo Central), no está presente *Dicrostonyx torquatus.* Entre ambos (B) los restos de ambas especies se pueden encontrar en los mismos niveles. En este caso y con los datos actuales, el número de días por encima de 10°C sería casi el doble en un área situada más al norte. Desde un punto de vista climático esto carece de sentido. La única alternativa posible es que dichas especies tuvieran límites diferentes para dicho parámetro, en unas condiciones ecológicas distintas a las actuales.

La lógica climática implicaría una inversión en los datos para ese rango.

A *Dicrostonix torquatus*

50 días

Dicrostonix torquatus

B

Microtus arvalis

90 días

C *Microtus arvalis*

En este caso la convivencia para los parámetros afectados vendría dada por la diferencia que se produce en el nº de días en que ambas especies no conviven en la actualidad.

Esto sucedería en los niveles superiores de abri Fritsch y de La Garenne, situados en el Indre, afluente del Loira. Los datos para estos yacimientos indican que los niveles superiores del primero corresponden a un Magdaleliense antiguo (17.130 - 16.530 BP), y los niveles B_5 a C_2 del segundo corresponden a un Magdaleliense con navettes (14.360 BP).

Los datos climáticos para las faunas asociadas a dichos niveles son:

	LA GARENNE		ABRI FRITSCH
	Micros.	Macros.	Micros.
R_1=	15- 16?	15- 20?	15- 20
R_2=	-16--18	-13 - -15	-16- 22
R_3=	180	140 - 210 ?	200 - 180
R_4=	60-100?	50-140?	60- 90?
R_5=	500-300	350-250	500 - 300

En ambos yacimientos, aparecen en los mismos niveles especies que en la actualidad no conviven en un mismo área. En abri Fritsch, *Dicrostonyx torquatus* junto con *Microtus arvalis.* En La Garenne, *Dicrostonyx torquatus* con *Microtus arvalis* y *Eliomys quercinus,* entre los micros, y *Saiga tatarica* con *Rangifer tarandus* y *Alopex lagopus* (los intervalos no coincidentes se indican mediante signos de interrogación). La repetida aparición de estas especies en los mismos niveles sedimentarios, para el período considerado en un área que se extiende desde el Loira, al sur, hasta el norte de Francia y sur de Bélgica implica un elevado grado de certeza en la probabilidad de una convivencia de dichas especies.

Los intervalos considerados indican los siguientes límites:

R_1= 15
R_2= -15 - -16
R_3= 180
R_4= 90 - 60
R_5= 350 - 250

Estos límites crean unas bandas diferentes que delimitan un clima más frío que el reflejado por los yacimientos cantábricos para el mismo período, lo que es lógico desde un punto de vista climático.

b.- *Polínicos:* si en todos los niveles contemporáneos hubiese pequeñas proporciones de polen de coníferas, inferiores al 30% del total, las temperaturas deberían estar por encima de las que posibilitan el crecimiento de estas plantas, siendo la sequía el límite al desarrollo de un bosque. Bajo las mismas condiciones, si están presentes pólenes de frondosas y/o coníferas, inferiores al 30%, las temperaturas permitirían el crecimiento de estos árboles siendo, como en el caso anterior, la sequía la causa de la inexistencia de bosques.

Definidos los límites climáticos mediante el estudio de las faunas sólo podemos saber que el clima se hallaba dentro de esos límites, sin embargo no sabemos, concretamente, en cuáles ni si se produjeron fluctuaciones.

Los datos climáticos inferidos a partir de los yacimientos cantábricos para la horquilla temporal 17.000 BP - 14.500 BP no nos permiten definir un ecosistema concreto.

Si tomamos los cinco conjuntos de límites:

R_1= 18°C- 16°C
R_2= -10°C
R_3= 180
R_4= 120
R_5= 600 mm - 400 mm

Los límites reales de los cinco rangos no pueden ser cualesquiera de los subconjuntos posibles dentro de los límites definidos a partir de los mamíferos presentes. Con las precipitaciones más altas y las temperaturas más bajas (16°C; -10°C; 180 días con temperaturas inferiores a 0°C; 120 días con temperaturas superiores a 10°C; 600 mm de precipitación media anual) estaríamos situados en un área existente en la actualidad, entre los países del Báltico y los cursos superiores del Volga y del Dnieper. Esta zona se halla cubierta hoy por un denso bosque mixto de coníferas y frondosas (excepto, naturalmente, donde éste ha sido destruido por el hombre).

Las secuencias polínicas del área cantábrica en este período indican tasas de polen arbóreo inferiores al 30%. Los taxones arbóreos presentes son *Pinus,* mayoritario, y *Quercus-Corylus.* Las secuencias de referencia en turberas y lagos, situados por lo general a mayor altura, presentan unos índices de polen arbóreo incluso inferiores. En estas condiciones tendríamos que:

- Las temperaturas no deberían ser un obstáculo para el crecimiento de los árboles caducifolios.

- Al ser el grado de certeza de la inexistencia de un ecosistema forestal muy alta, 'el grado de aridez debería ser tan elevado que no permitiese el crecimiento de los árboles excepto en áreas restringidas.

- Inclusión de los datos paleoclimáticos en conjuntos climáticos actuales.

En el caso anterior, si invirtiésemos el proceso y tomáramos los márgenes altos de esos mismos parámetros, 18°C; -10°C; 180 días; 120 días; y tomáramos ahora los márgenes más bajos de precipitaciones, entre 480 y 400 mm/año, nos encontraríamos con que este clima se localiza al sur de la confluencia entre el Volga y el Oka, uno de sus afluentes. En este área la vegetación predominante está compuesta por una estepa arbolada de pino silvestre, en las áreas más secas, y roble-sauce en las orillas de ríos y depresiones húmedas, estando el terreno en más del 50% de su superficie cubierto de estepa de pradera. Esto encajaría perfectamente con las muestras polínicas

3. Inferencia de los paleoecosistemas.

El principal camino que permite una reconstrucción de los climas del pasado implicaría los siguientes pasos:

a.- Elaboración de un mapa con aquellos yacimientos que favorezcan una reconstrucción ambiental, delimitando:

- Los yacimientos arqueológicos o geológicos con restos de fauna y polen en un área lo suficientemente amplia como para poder delimitar variaciones apreciables a nivel sincrónico. El pretender un análisis diacrónico de dos yacimientos, que únicamente refleja ambientes locales, es claramente insuficiente.

- Los análisis polínicos para el mismo área en lagos y turberas que nos permitan un grado de representación de los paisajes a nivel regional.

b.- Análisis de las bandas de convivencia para cada conjunto faunístico sincrónico con los datos de todo el área.

c.- Comparación de las bandas de convivencia de todos los yacimientos del mismo período, separando aquellos que forman bandas de convivencia entre sí. Las bandas diferentes entre áreas diferentes deben delimitar climas más fríos según ascendemos en latitud y altitud, nunca a la inversa.

d.- Comparación, para las bandas de convivencia de cada área, de las muestras polínicas de cuevas, turberas y lagos en dicho área y delimitar los márgenes de los límites de las bandas en los que se puede generar dicho paisaje, así como los taxones indicados por las secuencias polínicas contemporáneas.

e.- Llevar a cabo el mismo proceso de los puntos anteriores para períodos sucesivos de tiempo, utilizando como referencia a nivel global las secuencias isotópicas y en los yacimientos las fechas de radiocarbono, las culturas asociadas y las características sedimentarias (por ejemplo, el que las variaciones en los climas así delimitados indiquen en un período dado un calentamiento respecto al anterior no debe estar en contradicción con las secuencias isotópicas de referencia).

f.- Una vez acotados los márgenes climáticos para una serie de rangos (en principio cualquiera que nos permitiese un conocimiento más preciso del clima, ya que los cinco que proponemos sólo serían los más básicos), delimitar el área del planeta donde se encuentren actualmente dichos márgenes, y aplicar sus características bióticas (biomasa, productividad primaria neta, etc,...) al área y tiempo analizados.

VII. CONCLUSIÓN

La metodología aquí considerada implica un intento de reconstruir de manera cuantitativa tanto los climas como los ecosistemas del pasado, superando los límites inherentes a los métodos utilizados hasta hoy. Puede afirmarse que el método permite una resolución suficiente como para iniciar un estudio tendente a concretar las características bióticas de determinadas áreas en el pasado a nivel de ecosistema. Para cada área podrían definirse las condiciones climáticas. Ello permitirá un estudio de las variaciones de los ecosistemas no forestales, característicos de los períodos glaciales. Estas variaciones se consideran como interestadios si los ecosistemas son más productivos y como estadios los más pobres. La capacidad de afinar en el índice de resolución no depende de la metodología propuesta sino del volumen de datos y de su fiabilidad cronológica.

Somos conscientes de que a medida que nos alejamos en el tiempo o analizamos áreas cuyo volumen de información es bajo, el método pierde precisión en el análisis. Sin embargo, tanto el volumen de datos como la fiabilidad cronológica de los mismos está en continuo perfeccionamiento. Por ello, el método aquí presentado en sus características más esenciales podría ser un instrumento útil para el estudio, en territorios reducidos, de las consecuencias concretas de los cambios climáticos globales y, por otra parte, para enmarcar a las sociedades humanas del pasado en el ambiente real en que se desarrollaron.

BIBLIOGRAFIA

ALLEY, R.B. & BENDER, M.L.

1998 Testigos de hielo de Groenlandia. *Investigación y Ciencia 259,* 6045.

ALTUNA, J.

1972 Fauna de mamíferos de los yacimientos prehistóricos de Guipúzcoa. *Munibe 24.* 1

1992 El medio ambiente durante el Pleistoceno Superior en la Región Cantábrica con especial referencia a sus faunas de mamíferos. *Munibe (Antropologia-Arkeologia) 44,* 13-29.

1995 Faunas de mamíferos y cambios ambientales durante el Tardiglacial cantábrico. En A. MOURE y GONZALEZ SAINZ, C.(Eds.). *El final del Paleolítico cantábrico.* Universidad de Cantabria. Santander. 77-117.

BARANDIARAN (de), J.M. & FERNANDEZ MEDRANO, D.

1957 Exploración de la cueva de Lezetxiki en Mondragón (Trabajos de 1956). *Munibe 8,* 34-48.

BARANDIARAN (de), J.M.

1960 Exploración de la cueva de Lezetxiki en Mondragón (Memoria de los trabajos de 1957, 1959 y 1960...). *Munibe 12,* 273-310.

1963 Exploración de la cueva de Lezetxiki en Mondragón (Campaña 1962). *Munibe 15,* 87-102.

BEAULIEU (de), J.L. &SUC, J.P.

1985 Les pollens et l'histoire de la végétation. *Les Dossiers Histoire et Archéologie 93,* 67-73.

BEGON, M.; HARPER, J.L. &TOWNSEND, C.R.

1988 *Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades.* Omega. Barcelona.

BONIFAY, M.-F.

1982 Paléoclimatologie Quantitative: Méthode Fondée sur les Grands Mammifères Quaternaires et Première Application aux Régions Sud de la France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 38,* 207-226.

BORDES. F.

1953 Essai de classification des industries "Moustériennes". *Bulletin de la Société Préhistorique française 50,* 457-466.

BORDES, F. & PRAT, F.

1965 Observations sur les faunes de Riss et du Würm I en Dordogne. *L'Anthropologie 69,* 31-45.

BOYER-KLEIN,A.

1985 Analyse pollinique de la grotte d'Erralla. En J. ALTUNA, A. BALDEON y K. MARIEZKURRENA. Cazadores magdalenienses en Erralla (Cestona, País Vasco). *Munibe (Antropologia-Arkeologia) 37,* 45-48.

1989 Análisis polínico de la cueva de Zatoya. En I. BARANDIARAN y CAVA, A. (Eds.). *El yacimiento prehistórico de Zatoya (Navarra).* Trabajos de Arqueología Navarra 8 (Suppl.), 231-235.

BOYER-KLEIN, A. & LEROI-GOURHAN, Arl.

1987 Análisis polínico de El Juyo. En I. BARANDIARAN; FREEMAN, L.G.; GONZALEZ ECHEGARAY, J.Y FLEIN, R.G. *Excavaciones en la cueva de El Juyo.* Centro de Investigación y Museo de Altamira, *Monografías 14,* 57-61.

BOYLE, K.V.

1990 *Upper Palaeolithic Faunas from South-West France.* BAR International Series 557. Oxford.

BUTZER, K.

1989 *Arqueología. Una ecología del hombre. Bellaterra.* Barcelona. (Cambridge, 1982).

BUTZER, K. & ISAAC. G.L.

1981 Cave sediments, Upper Pleistocene Stratigraphy, and Mousterian Facies in Cantabrian Spain. *Journal of Archaeological Science 8,* 133-183.

CAMPY, M. & CHALINE, J.

1993 Missing Records and Depositional Breaks in French Late Pleistocene Caves Sediments. *Quaternary Research 40,* 318-331.

COOPE, G.R.

1977 Fossil coleopteran assemblages as sensitive indicators of climatic changes during the Devensian (Last) cold stage. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* B 280, 313-340.

COOPE, G.R.; MORGAN, A. & OSBORNE, P.J.

1971 Fossil coleoptera as indicators of climatic fluctuations during the last glaciation in Britain. *Palaeogeography, Palaeocliomatology, Palaeoecology 10,* 87-101.

COUTEAUX, M.

1977 À propos de l'interprétation des analyses polliniques de sédiments minéraux, principalement archéologiques. En H. LAVILLE y RENAULT-MISKOVSKY, J. (Eds.). *Approche écologique de l'Homme fossile.* Supplement de l'AFEQ. Paris. 259-276.

CHALINE, J.

1972 *Les rongeurs du Pléistocène moyen et supérieur en France.* Cahiers de Paléontologie. CNRS. Paris.

CHALINE, J. & BROCHET, G.

1989 Les rongeurs. Leurs significations paléoécologiques et paléoclimatiques. En M. CAMPY, CHALINE, J. y VUILLEMEY M. (Dirs.). La Baume de Gigny (Jura), *XXVII Suppl. à Gallia Préhistoire,* CNRS. Paris. 97-109.

DELCOURT, H.R. & DELCOURT, P.A.

1991 *Quaternary Ecology. A paleoecological perspective.* Chapman & Hall. London.

DELPECH, F.

1983 *Les faunes du paléolothique supérieur dans le Sud-Ouest de la France.* Cahiers du Quaternaire 6. CNRS. Paris.

DUPRÉ, M.

1988 *Palinología y paleoambiente: nuevos datos españoles. Referencias.* Servicio de Investigaciones Prehistóricas. Diputación Provincial de Valencia. Valencia.

FABRE, F.

1964 Les Paléoclimats en Basse-Provence du Magdalénien V ancien à l'Azilien ancien. *Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle de Marseille t. XXIV,* 165-176.

FARRAND, W.R.

1975 Sediment Analysis of a Prehistoric Rockshelter: The Abri Pataud. *Quaternary Research 5,* 1-26.

1982 Rockshelter and cave sediments. En J.K. STEIN y FARRAND, W.R. (Eds.). *Archaeological sediments in context.* University of Maine. Orono, 21-39.

1988 Integration of Late Quaternary Climatic Records From France and Greece. Cave sediments, Pollen, and Marine Events. En H.L. DIBBLE y MONTET-WHITE, A. (Eds.). *Upper Pleistocene Prehistory of Western Eurasia.* University of Pennsylvania. Philadelphia, 305-319.

GAMBLE, C.

1990 *El Poblamiento Paleolítico de Europa.* Crítica. Barcelona.

GASCO, J.

1985 Histogrammes et dates radiocarbone. *Bulletin de la Société Préhistorique Française 82* (4), 108-111.

GEORGE, P.

1967 *Geografía de la U.R.S.S.* Taurus. Madrid.

GONZÁLEZ SÁINZ, C.

1994 Sobre la cronoestratigrafía del Magdaleniense y Aziliense en la región cantábrica. *Munibe (Antropologia-Arkeologia) 46,* 53-68.

GRIGGO, Ch.

1996 Établissement de courbes climatiques quantifiées à partir des communautés animales pléistocènes suivi d'une application aux gisements de l'abri Suard (Charente) et la grotte de Bois-Ragot (Vienne). *Paléo 8,*81-97.

HOKR, Z.

1951 A Method of the Quantitative Determination of the Climate in the Quaternary Period by Means of Mammal Associations. *Sbornik of the Geological Survey of Czechoslowakia, vol. XVIII,* 209-218. (Translated from the Czech text by G. HORT).

HOYOS, M.

1979 *El karst de Asturias en el Pleistoceno Superior y Holoceno: Geomorfología, Sedimentología y Paleoclimatología.* Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Geología. Madrid.

1995 Paleoclimatología del Tardiglacial en la cornisa cantábrica basada en los resultados sedimentológicos de yacimientos arqueológicos kársticos. En: A. MOURE y GONZALEZ SAINZ, C. (Eds.). *El Final del Paleolítico Cantábrico.* Universidad de Cantabria. 15-75.

JALUT, G.

1992 Le paléoenvironnement de la moitié occidentale du versant Nord des Pyrénées de 40.000 BP. à l'actuel: étapes de la déglaciation et histoire de la végétation. En A. CEARRETA y UGARTE, F.M. (Eds.). *The Late Quaternary in the Western Pyrenean Region.* Universidad del País Vasco Bilbao.

JALUT, G.; MARTI, J.M.; FONTUGNE, M.; DELIBRIAS, G.; VILAPLANA, J.M. & JULIA, R.

1992 Glacial to Interglacial Vegetation Changes in the Northern and Southern Pyrenées: Deglaciation, Vegetation Cover and Cronology. *Quaternary Science Reviews 11,*449-480.

JOHNSEN, S.J.; DANSGAARD, W.; CLAUSEN, H.B. & LANGWAY, C.C.

1972 Oxygen isotope profiles through the Antarctic and Greenland ice sheets. *Nature 235,*429-434.

LAPLACE, G.

1961 Recherches sur l'origine et l'évolution des complexes leptolithiques. *Quaternaria 5,* 153-124.

LAVILLE, H.

1975 *Climatologie et chronologie du Paléolithique en Périgord: Étude sédimentologique de dépots en grottes et sous abris.* Université de Provence. Mémoire nº 4. Etudes Quaternaires.

1988 Recent development on the chronostratigraphy of the Paleolithique in the Perigord. En: H.L. DIBBLE y MONTET-WHITE, A. (Eds.). *Upper Pleistocene Prehistory of Western Eurasia.* University of Pennsylvania. Philadelphia. 147-160.

LAVILLE, H.; RIGAUD, J.-P. & SACKETT, J.R.

1980 *Rock Shelters of the Périgord.* Academic Press. New York.

LAVILLE, H. & MISKOVSKY, J.Cl.

1977 Sédimentologie des dépots paléolithiques en grottes et sous abris. En H. LAVILLE y RENAULT-MISKOVSKY, J. (Dirs.). *Approche écologique de l'Homme fossile.* Suppl. De l'AFEQ. Paris. 21-22.

LEROI-GOURHAN, Arl.

1980 Les interstades du Würm supérieur. En J. CHALINE (Ed.). *Problèmes de Stratigraphie Quaternaire en France et dans les Pays Limitrophes.* AFEQ. Dijon. 192-194.

1986 The Palynology of La Riera Cave, en L.G. STRAUS y CLARK, G.A. (Eds.). *La Riera Cave. Stone Age Hunter-Gatherer adaptations in Northern Spain.* Arizona State University. Alburquerque. 59-64.

LEROI-GOURHAN, Arl. & RENAULT-MISKOVSKY, J.

1977 La palynologie appliquée à l'archéologie, méthodes et limites, en H. LAVILLE y RENAULT-MISKOVSKI, J. (Eds.). *Approche écologique de l'Homme fossile.* Suppl. de l'AFEQ. Paris. 35-51.

1979 *La palinología aplicada a la arqueología: métodos, límites y resultados.* Universitat Autònoma de Barcelona. Quaderns de Treball 2. Bellaterra.

LOWE, J.J.; COOPE, G.R.; SHELDRICK, C.; HARKNESS, D.D. & WALKER, M.J.C.

1995 Direct comparison of UK temperatures and Greenland snow accumulation rates, 15-12000 years ago. *Journal of Quaternary Science 10(2),* 175-180.

LOWE, J.J. &WALKER, M.J.C.

1997 *Reconstructing Quaternary Environments.* Longman. Essex. (2ªEd.)

MARQUET, J.-C.

1989 Rongeurs et Chronologie Préhistorique, en J.-P. MOHEN (Dir.), *Le Temps de la Préhistoire.* Société Préhistorique Française *vol. 2,* 136-139.

MARTINSON, D.G.; PISIAS, N.G.; HAYS, J.D.; IMBRIE, J.; MOORE, T.C. & SHACKLETON, N.J.

1987 Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high resolution O-300,000 year chronostratigraphy. *Quaternary Research 27,* 1-29.

NOIRFALISE, A. (Coord.)

1987 *Map of the natural vegetation of the member countries of the European Community and the Council of Europe.* Council of Europe.

OXFORD REGIONAL ECONOMIC ATLAS

1969 *The U.S.S.R. and Eastern Europe.* Oxford University Press. Oxford.

PEÑALBA, C.

1992 La vegetación y el clima en los Montes Vascos durante el Pleistoceno superior y el Holoceno según los análisis polínicos. En A. CEARRETA y UGARTE, F.M. (Eds.). *The Late Quaternary in the Western Pyrenean Region.* Universidad del País Vasco. Bilbao.

PETERSON, G.M.; WEBB, T.; KUTZBACH, J.E.; VAN DER HAMMEN, T.; WIJMSTRA, T.A. & STREET, F.A.

1979 The continental record of environmental conditions at 18,000 yr. B.P.: an initial evaluation. *Quaternary Research 12,* 47-82.

POLUNIN, O. & WALTERS, M.

1989 *Guía de la Vegetación de Europa.* Omega. Barcelona

REILLE, M.

1990 *Leçons de Palynologie et d'analyse pollinique.* Editions du CNRS. Paris.

RENAULT-MISKOVSKY, J.

1972 Contribution à la paléoclimatologie du Midi méditerranéen pendant la dernière glaciation et le Post-glaciaire, d'après l'étude palynologique du remplissage des grottes et abris sous roche. *Bulletin du Musée d'Anthropologie Préhistorique de Monaco 18,* 145-210.

1986 *L'environnement au temps de la Préhistoire. Méthodes et modèles.* Masson. Paris.

RENAULT-MISKOVSKY, J. & LEROI-GOURHAN, Arl.

1981 Palinologie et Archéologie: nouveaux résultats du Paléolithique supérieur au Mésolithique. *Bulletin de l'AFEQ 7-8,* 121-128.

RUDDIMAN, W.F. & McINTYRE, S.

1976 Northeast Atlantic palaeoclimatic changes over the past 600,000 years. *Geological Society of America.* Memoir 145, 11-146.

SANCHEZ GOÑI, M.F.

1993a *De la taphonomie pollinique à la reconstitution de l'environnement: L'exemple de la région cantabrique.* BAR International Series 586. Oxford.

1993b Criterios de base tafonómica para la interpretación de análisis palinológicos en cueva: el ejemplo de la Región Cantábrica. En M. P. FUMANAL y BERNABEU, J. (Eds.). *Estudios sobre Cuaternario.* Universitat de València-AEQUA. Valencia. 117-130.

1994 The Identification of European Upper Palaeolithic Interstadials from Cave Secuences. *AASP Contributions Series* 29, 161-182.

SERONIE VIVIEN, M.R.

1976 Environnement tardiglaciaire et postglaciaire. Contribution à la paléoécologie préhistorique. *Bulletin de la Société Anthropologique du Sud-Ouest, t. XI (4).* Journées Scientifiques sur le Mésolithique, 121-144.

SHOTWELL, J.A.

1958 Inter-community relationships in Hemphillian (mid-Pliocene) mammals. *Ecology 39,* 271-282.

WALTER, H

1981 *Los sistemas ecológicos de los continentes.* Omega. Barcelona.

1994 *Zonas de vegetación y clima.* Omega. Barcelona.

WOILLARD, G.M.

1978 Grande Pile Peat Bog: A Continuous Pollen Record for the Last 140,000 Years. *Quaternary Research 9,* 1-21.

1980 The pollen record of Grande Pile (N.E. France) and the climatic chronology through the last interglacial-glacial cycle. En J. CHALINE (Ed.). *Problèmes de Stratigraphie Quaternaire en France et dans les Pays Limitrophes.* AFEQ. Dijon. 95-103.

WOILLARD, G.M. & MOOK, W.G.

1982 Carbon-14 Dates at Grande Pile: Correlations of Land and Sea Chronologies. *Science 215,* 159-161.