

LA EVOLUCIÓN CLIMÁTICA A LARGO PLAZO Y EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

A. Delgado, E. Reyes
CSIC

P. Pinedo, F. Recreo
CIEMAT

T. Torres
UPM-ETSIM

A. Cortés
ENRESA

Introducción

El concepto de almacenamiento geológico profundo para residuos radiactivos de alta actividad basa una parte importante de su seguridad a largo plazo en el comportamiento del medio geológico. De aquí que los estudios de seguridad post-clausura de tales almacenamientos deban contemplar la necesidad de cuantificar los procesos susceptibles de intervenir en la liberación y el transporte de los radionucleidos desde el propio almacenamiento hasta la biosfera, y las modificaciones importantes que esta última pueda sufrir debido tanto a factores naturales como antropogénicos, durante los periodos de tiempo del orden de cientos de miles de años en que se cifra la duración de la liberación de radionucleidos [AGP, 1997].

De entre los factores naturales, la *variación climática a largo plazo* es el factor que de forma más directa interviene sobre el *flujo subterráneo* y el *transporte de radionucleidos en la barrera geológica del almacenamiento*, y el que de forma más importante *modifica los distintos componentes biosféricos* (hidrología, suelo y vegetación), en las escalas de tiempo anteriormente aludidas.

Las variaciones climáticas en el largo plazo (periodos superiores a los 19 ka) son resultado de las variaciones en la cantidad y en la distribución de la radiación solar recibida y retenida en la superficie de la Tierra. La teoría de que las variaciones en la

intensidad estacional de la radiación solar como resultado de factores astronómicos podía dar lugar a glaciaciones periódicas fue inicialmente adelantada, a finales del siglo XIX, por el matemático francés J. Adhémar, retomada por el escocés James Croll (1864) y finalmente refinada y formalizada por el astrónomo serbio M. Milankovitch entre 1920 y 1930 y es conocida por su nombre. En esencia, la teoría de Milankovitch asocia los ciclos glaciales a los cambios en la distribución de la radiación solar que se producen como consecuencia de las variaciones geométricas de la órbita de la Tierra, variaciones que dependen de tres elementos con carácter periódico: la precesión de los equinoccios (19-23 ka), la oblicuidad del eje de la Tierra (41 ka) y la excentricidad de la órbita terrestre (96 ka).

La variación periódica de estos parámetros orbitales, conocidos como "variables de Milankovitch", permite calcular la variación de la insolación recibida por la Tierra en las distintas latitudes. No obstante, los efectos de las variables orbitales son modulados, amplificándolos o mitigándolos, por mecanismos internos al sistema climático, en particular por las concentraciones atmosféricas de CO₂ y otros gases con efecto invernadero, a su vez variables en el tiempo.

La teoría de Milankovitch ha tenido su principal confirmación empírica al estudiar las variaciones isotópicas de la relación ¹⁸O/¹⁶O, (δ^{18} O), en los foraminíferos de los sedimentos de los fondos oceáni-

cos y la clara relación existente entre la variación climática anticipada por la teoría y los cambios climáticos ocurridos en los últimos 750.000 años permite utilizar los ciclos de Milankovitch para predecir cuándo se producirán periodos glaciales en el futuro y su magnitud relativa [SKB-91, 1992].

El impacto potencial del cambio climático sobre las variables hidrológicas clave (precipitación, evapotranspiración y escorrentía) no se conoce bien aún y resulta difícil evaluar las modificaciones del ciclo hidrológico como resultado del cambio climático a largo plazo, tanto por la complejidad de las interacciones entre la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera y la geosfera como por la todavía baja capacidad predictiva de los Modelos de Circulación General (GCM. Por su parte, la respuesta del flujo hidrogeológico a las variaciones climáticas –fundamentalmente expresadas por las variaciones en la recarga (y, en menor grado, de la evapotranspiración)– es una respuesta diferida, especialmente en lo que se refiere a los flujos subterráneos profundos, los de mayor interés en el análisis del comportamiento y de la seguridad de los almacenamientos de residuos radiactivos. A diferencia de los acuíferos someros de carácter local, los sistemas acuíferos regionales profundos pueden tardar en responder a las variaciones en la recarga cientos o miles de años, normalmente en el rango de los $10^3 - 10^5$ años, lo que vincula sus regímenes de flujo a las condiciones paleoclimáticas [Dames & Moore, 1989].

La consideración del cambio climático en las evaluaciones de seguridad de los sistemas de almacenamiento geológico ha ido tomando cuerpo de manera progresiva desde los primeros años de la década de los 80, hasta la incorporación del concepto mismo de cambio climático en el Escenario Central del Proyecto SITE-94 de SKI. Hasta el momento actual se han manejado dos aproximaciones en cuanto a la consideración del cambio climático a largo plazo en las evaluaciones de seguridad de los sistemas de almacenamiento geológico: la aproximación o método de los escenarios, y la aproximación por simulación ambiental. El Proyecto internacional BIOMOVs II (1996) y el Programa BIOMASS (1998) han formulado y desarrollado, respectivamente, el concepto de biosferas de referencia para su utilización como apoyo en las evaluaciones de seguridad, y un nuevo proyecto internacional sobre modelización de los sistemas biosféricos en el largo plazo (BIOCLIM), a desarrollar en el 5º Programa Marco de la UE (1998/2003), propone dos estrategias, jerárquica e integrada, para la simulación de la evolución futura de

la biosfera teniendo en cuenta el cambio climático y los mecanismos de cambio ambiental relevantes en la evaluación del comportamiento de los almacenamientos de residuos radiactivos.

Todas las alternativas señaladas requieren, como paso previo ineludible, *formular la secuencia climática más probable en el área de interés y caracterizar cuantitativamente las condiciones físicas de la biosfera en cada estado climático potencial futuro.*

Para definir la secuencia climática y el orden en que se producirán las transiciones entre estados climáticos en el futuro se utilizan dos áreas de conocimiento complementarias: la *reconstrucción paleoclimática y paleohidrológica* de la zona a partir del registro geológico, haciendo uso de paleoindicadores (espectros polínicos, relaciones isotópicas del oxígeno y del carbono, travertinos, restos antracólitos y arqueológicos, series dendroconológicas, paleosuelos y facies sedimentarias en depósitos cuaternarios), y mediante modelos climáticos orbitales basados en la teoría de Milankovitch y calibrados frente a secuencias estratigráficas marinas del Cuaternario, tales como las series SPECMAP.

Reconstrucción paleoclimática preliminar del último ciclo glacial/interglacial

La reconstrucción paleoclimática preliminar del último ciclo glacial/interglacial en la Península Ibérica [ENRESA, 1997] ha partido de un análisis comparado de los sondeos P2 y P3 de Padul (Granada), de los sondeos KET8003 del mar Tirreno y de las secuencias de temperatura y precipitación en Les Echets y en la Grande Pile (Francia), por una parte, y de la utilización de los resultados de los modelos climáticos orbitales, por otra. Para la caracterización de los escenarios o estados climáticos se ha trabajado en función el concepto de bioclima ya que éstos admiten una doble definición, climática y vegetal, con la que es posible determinar el bioclima a partir de la vegetación (espectro polínico). En función de estos resultados se han definido 5 estados o escenarios climáticos tipo en los que se recogen las variaciones esperadas del clima en la región biogeográfica mediterránea de la Península Ibérica en periodos de tiempo de distinta duración definidos por la variación del índice ACLIN 1 en los últimos 110 ka BP. Conjugando dichos escenarios climáticos tipo con los umbrales del índice ACLIN 1 desde la actualidad a los 125 ka AP se ha estable-

cido la secuencia climática futura más probable para la región biogeográfica Mediterránea de la Península Ibérica, [figura 1](#).

0-2 ka AP	Condiciones templadas. Escenario climático tipo nº 5. Efecto invernadero reforzado por la acción humana.
2-20 ka AP	Enfriamiento muy rápido hasta los 5 ka AP. Oscilación climática de carácter estadal entre los 5 y los 20 ka AP. Escenario climático tipo nº 1.
20-25 ka AP	Condiciones glaciales atemperadas. Escenario climático tipo nº 3b.
25-56 ka AP	Condiciones estadales-interestadales. Escenario climático tipo nº 2.
56-64 ka AP	Condiciones netamente glaciales. Escenario climático tipo nº 3a.
67-72 ka AP	Recuperación climática hasta condiciones interestadales templadas. Escenario climático tipo nº 4.
72-108 ka AP	Enfriamiento rápido hasta los 83 ka AP y mucho más lento hasta los 108 ka AP. Escenario climático tipo nº 1.
108-110 ka AP	Condiciones glaciales. Escenario climático tipo nº 3b.

Identificación de biosferas de referencia ligadas al cambio climático

En función de los Escenarios Climáticos (EC) definidos en el apartado anterior, se observa que los periodos interestadales-estadales abarcan la mayor parte del periodo cubierto entre hoy y los próximos 130.000 años, representados por los escenarios climáticos tipo 1, 2 y 4 [Recreo y Ruiz, 1998]. De ellos, el escenario climático tipo 1 se produce en dos ocasiones entre los 2.000 y los 20.000 años y posteriormente entre los 72.000 y los 108.000 años. Por su representatividad y frecuencia en el periodo analizado es éste escenario climático (tipo 1) el que se considera como un posible estado climático de evolución. Para el sistema biosférico (EC-tipo1) seleccionado, se asumen características constantes a lo largo del periodo de evaluación radiológica y, se describe siguiendo la estructura que se muestra en la [Tabla 1](#), con características correspondientes a sistemas climáticos análogos. Al sistema biosférico así desarrollado se le denomina biosfera de referencia o sistema de referencia.

El escenario climático tipo 1 ilustra la evolución climática que acompaña el descenso relativamente rápido desde una clase climática interglacial a otra de carácter estadal. El índice climático ACLIN1 pasa de 4,3 a 1,5 en unos 10.000 años. El progresivo descenso de la temperatura lleva a termoclimas supramediterráneos (Tm entre 8° y 13°C) con ombroclima claramente seco (350-650 mm), primero, y a condiciones oromediterráneas (Tm entre 4° y 8 °C) más tarde, con un aumento notable de la aridez (ombroclima semiárido). La evapotranspiración potencial disminuye a lo largo del escenario desde los aproximadamente 1050 mm de las condiciones mesomediterráneas a los 650 mm de las condiciones oromediterráneas. El nivel del mar sufre un descenso continuado y bastante rápido desde -20 m al inicio del escenario a los -70 m al final del mismo.

Es este estado climático final del escenario climático tipo 1, al que se refiere la descripción que a continuación se realiza ([Tabla 1](#)). Para el cálculo del potencial impacto radiológico, se asumen asentamientos de un grupo/grupos de población con determinados hábitos, coherentes con los recursos naturales existentes.

Según la clasificación climática de Köppen, este estado correspondería a un clima seco, estepario y frío (BSk). En la actualidad las estepas en la península Ibérica, utilizadas como entornos análogos para la descripción del sistema, se extienden por zonas del Valle del Ebro, el sureste semiárido, la Mancha, y otras zonas menores de la Península.

Resultados de los proyectos ligados al 2º y 3º I+D de ENRESA

- En los apartados anteriores se ha puesto de manifiesto que para la evaluación del comportamiento del AGP, tanto en lo que se refiere al campo cercano como a la biosfera, resultaría de interés contar con una *Prospectiva Climática y Ambiental* la cual solo se puede obtener a partir del *Análisis Paleoclimático y Paleoambiental*. A tal fin, ENRESA ha basado esta búsqueda de datos en un amplia serie proyectos que se inscriben en sus Planes de I+D:
- Reconstrucción paleoclimática desde el Pleistoceno medio a partir de análisis geocronológicos e isotópicos de travertinos: 1992-1994.

- ❑ Estudio paleoambiental de la mitad sur de la Península Ibérica. 1996-1999.
- ❑ Paleoclima: 1998-2001.
- ❑ Paleoclimatological Revision of Climate Evolution in Western Mediterranean Region. Evaluation of Altered Scenarios (CE-FI2W-CT91-0075). Enero 1991/diciembre 1994.
- ❑ Evidency from Quaternary Infills Palaeohydrogeology (F14W-CT96-00 Nb 960296). Marzo 1997/marzo 2000.

Si de una manera genérica se tuviera que definir el alcance de los intereses de ENRESA, en lo que se refiere a la posible interacción evolución paleoclimática/paleoambiental y evaluación de la seguridad de repositorios de residuos radiactivos sería *“la obtención de datos de la evolución paleoambiental de la Península Ibérica durante el último millón de años, con especial énfasis en los últimos cien mil años”*.

Esta demanda requería, en principio, un único requisito: *encontrar un registro geológico continuo que cubriera dicho espacio temporal*. Por supuesto, al hablar de un registro continuo de esta importancia, se refiere a continuidad geológica, asumiendo que las condiciones paleoambientales de algunos intervalos de tiempo no quedaron registradas. Ello invalidaba definitivamente el estudio de secuencias de terrazas, detríticas o travertínicas.

Una vez localizado un registro geológico de éstas características, continuidad, también se precisaba que en la secuencia seleccionada se dieran necesariamente las siguientes características:

- ❑ El registro continuo debe contener algún tipo de material capaz de haber registrado fielmente los cambios paleoambientales.
- ❑ No deber haber sufrido fenómenos diagenéticos que alteraran el mensaje paleoambiental registrado.
- ❑ El registro debe ser datable.

De acuerdo con los datos conocidos hasta ahora, estas condiciones se localizaban en la Cuenca de Guadix-Baza (Sector Cúllar Baza) y en la turbera de Padul, ambas en Granada.

La Cuenca de Guadix-Baza (Sector Cúllar Baza)

Se trata de una cuenca aluvial palustre en la que se ha localizado una sección de algo más de 300m de potencia, tras estudiar casi 4000 m de serie, que cubre un intervalo de tiempo comprendido entre

1,68 millones de años BP y 300.000 años BP. Desgraciadamente la erosión o no depósito ha hecho que falta el registro mas reciente.

- ❑ El registro es sumamente rico en ostrácodos, cuyo caparazón calcítico registra con total exactitud el sello isotópico del agua de lluvia ($\delta^{18}\text{O}$) que permite conocer la variación de la paleotemperatura; también tiene otros elementos ($\delta^{13}\text{C}$, Sr, Mg, Ca) que proporcionan información paleoambiental (productividad, paleohidrología, paleohidrogeología). También aparecen grandes cristales de yeso sinsedimentario que permiten conocer la paleosalinidad de las aguas del lago.
- ❑ Se ha trabajado en una zona marginal del lago en la que no se detecta diagénesis, en zonas centrales la diagénesis, yesificación, ha destruido los caparazones calcíticos.
- ❑ La abundancia de restos de organismos ha permitido el uso intensivo del método de datación por análisis de racemización de aminoácidos, puesto a punto para este grupo de proyectos. Los materiales detríticos finos (arenas muy finas y lutitas) tienen suficiente remanencia magnética para el análisis de paleomagnetismo, que ha permitido la determinación de varios cronos paleomagnéticos.

La turbera de Padul

La turbera de Padul es un registro único en Europa: un espesor de más de 100 m de turba contiene el registro comprendido entre 4000 BP y 1 millón de años BP, esta última cifra es una estimación basada en la velocidad de acumulación de turba conocida en la zona.

- ❑ El registro continuo de turba está repleto de pólenes que proporcionan una información paleoclimática regional (entorno que incluye Sierra Nevada, la costa y la depresión de Granada). La materia orgánica (turba) proveniente de plantas que vivían en el pantano de Padul, proporcionará una importante información paleoclimática (δ) del entorno de la turbera, mientras que los biomarcadores presentes en la turba (alcanos, cetonas, alheidos, S orgánico, vitamina E etc.) van a proporcionar datos paleohidrogeológicos del área. El posible desfase del registro polínico y los isotópicos y biomarcadores permitirá estimar el retardo en la respuesta local frente al cambio climático global. El método de análisis de biomarcadores

se puso a punto para la realización de éstos proyectos.

- ❑ Como el desmuestre de las turbera se ha realizado a partir de una zanja (8.5m) y de un sondeo (103 m) se ha comprobado la ausencia de diagénesis (oxidación), explicable por la alimentación subterránea de la turbera que se refleja en sondeos surgentes.
- ❑ Hay abundante material para dataciones: gasterópodos y ostrácodos para datación por racemización de aminoácidos, turba (^{14}C , U/Th y en un futuro U/Pb). No obstante la parte del sondeo de edad superior a 300.000 años no ha podido ser datada.

Resultados

Cuenca de Cúllar-Baza

- ❑ A partir de las dataciones realizadas, el análisis paleobiológico de las muestras (% de *Cyprideis torosa* Jones), el análisis isotópico de elementos traza e isótopos estables de O y C, en el intervalo comprendido entre 1.68 Ma y 300 ka BP, se detectan cuatro Grandes Períodos Cálidos y Áridos y cuatro Grandes Períodos Fríos y Húmedos, con una duración aproximada de 350 ka cada uno, **Figura 2**.
- ❑ Se ha determinado una elevada correlación significativa entre la paleosalinidad de las inclusiones fluidas del yeso intrasedimentario y la $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato cálcico del caparazón de ostrácodos asociados, de forma que se ha podido calcular la paleosalinidad lacustre existente a lo largo de toda la serie y, por lo tanto, la de las aguas que por infiltración podrían alcanzar un presunto repositorio. **Figura 3 y 4**.
- ❑ Se ha definido un escenario denominado "mosaico lacustre" que, presumiblemente, podría presentar correlatos en la evolución futura de cuencas alpinas como son las del Ebro, Duero y Tajo.
- ❑ Se ha encontrado un reflejo, en partes de la serie, de los ciclos de Milankovitch.

Turbera de Padul

- ❑ Se ha obtenido la curva isotópica de la $\delta^{13}\text{C}$ de la materia orgánica (Padul) que refleja los eventos paleoclimáticos a nivel de la turbera de Padul. **Figura 5**.

- ❑ A falta de datos palinológicos propios, se están realizando los análisis, se han recuperado y tratado estadísticamente datos ya publicados que para los primeros 100 ka del registro revelan que existe un decalaje entre el registro isotópico (local) y el polínico (lluvia de polen, regional). Ello va a permitir cuantificar retrasos de respuesta de sistemas locales frente a cambios globales. **Figura 6**.
- ❑ El tratamiento estadístico de los datos polínicos también permite establecer, que no se dan cambios polínicos (paleoclimáticos) bruscos: generalmente hay estados transicionales. Al menos en los 100 ka analizados. **Figura 7**.
- ❑ El análisis de la evolución de los biomarcadores ha permitido establecer una secuenciación de momentos de alto flujo y bajo flujo hidrogeológico en la turbera de Padul, que teniendo en cuenta se trata de aportes a través de dolomías (del Complejo Nevado-Filábride) karstificadas que alcanzan las zonas más elevadas de Sierra Nevada, donde la cota de suelos permanentemente helados ha variado de acuerdo con los cambios climáticos globales, proporcionando un aporte hidrogeológico mayor (períodos cálidos) o menor (períodos fríos) en los que los conductos cercanos a la superficie (lapiaces) estaban ocluidos por el hielo. **Figura 8**.

Referencias

- AEA (1995). Anuario de Estadística Agraria 1993. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Cardona F. Suárez et al., MOPT, ISBN: 84-7433-777-1. Centro de publicaciones, 1992
- CIEMAT/DIAE/PIRA/15/99, Descripción de la biosfera. Proyecto ENRESA2000. Versión 1.1. Madrid, Noviembre 1999.
- GOURMET (1999), Base de datos Gourmet. Guía del Usuario. Versión 1.0. Mayo 1996/Actualización 1999.
- Recreo F y Ruiz C (1997). Consideración del cambio medioambiental en la evaluación de la seguridad. Escenarios climáticos a largo plazo en la Península Ibérica. Publicación técnica (ENRESA) nº 01/97.
- Recreo F y Ruiz C (1998). Escenarios climáticos a largo plazo (125 Ka AP) en la península Ibérica. Síntesis. CIEMAT/DIAE/550/55800/05/98. Madrid.
- Strahler A (1984). Geografía física. ISBN 84-282-0351-2. Barcelona, Ediciones Omega.

Tabla 1
Descripción del sistema biosférico correspondiente a las Estepas Ibéricas [Cardona et al. 1992]

Datos meteorológicos y climáticos	<p>Clima mediterráneo más o menos acentuado, con un período seco en verano, con un déficit de agua importante para el desarrollo vegetal, enmarcado por dos períodos lluviosos, en otoño-invierno y primavera. Pluviosidad anual de 350-400 mm y una temperatura media invernal entre 5-8°C, aunque las condiciones climáticas de las distintas áreas pueden cambiar debido a las características locales. La presencia de vientos más o menos constantes puede considerarse característico de la estepas ibéricas.</p>
Hidrología e hidrogeología	<p>En los tipos de clima seco ("B") la escorrentía es relativamente grande e importante en cuanto a las consecuencias respecto a los climas húmedos. Las lluvias fuertes y de corta duración depositan agua en el suelo de manera más rápida de lo que puede absorberse. El resultado es que el agua requerida no es absorbida por el suelo, además de darse una erosión activa del mismo. Los ríos son escasos y las vías de drenaje poco desarrolladas. Como la evapotranspiración excede a la precipitación no se originan arroyos permanentes dentro de estas zonas aunque se dan arroyos intermitentes.</p>
Edafología	<p>En este régimen climático el proceso pedogénico dominante es la calcificación, con salinización en los lugares de escaso drenaje [Strahler, 1984].</p> <p>Los suelos tipo chernozem contienen morfológicamente una capa superficial de unos 5 cm de espesor poco firme compuesta por restos de vegetación. Por debajo de ésta, se encuentra el horizonte Ah, que puede tener hasta 2m de profundidad, con una marcada estructura granular. Con la profundidad, el contenido en materia orgánica disminuye y se incrementa la cantidad de carbonato depositada formando un horizonte cálcico.</p>
Ecología	<p>Vegetación:</p> <p>En la estepa pueden encontrarse arbustos aislados y árboles de pequeño tamaño. Existen numerosas especies de gramíneas, y otras plantas típicas como el girasol y el tabaco. Las formas vegetales son los arbustos (<i>Quercus coccifera</i>, <i>Rhamnus lycioides</i> y <i>saxatilis</i>, <i>Prunus spinosa</i>), intercalados entre una vegetación constituida mayoritariamente por matorrales (<i>Thymus</i>, <i>Genista</i>, <i>Astragalus</i>, <i>Teucrium saturneja</i>, <i>Phlomis</i>, <i>Helianthemum</i>, <i>Salsola</i>) y plantas herbáceas cespitosas (<i>Stipa</i>, <i>Bromus</i>, <i>Festuca</i>, <i>Aranula</i>). Pueden aparecer rodales de árboles en estado precario (<i>Pinus</i>, <i>Juniperus</i>).</p> <p>El frío invernal y la sequía estival reducen el período vegetativo en la estepa a tres o cuatro meses al año, generalmente entre abril y julio.</p> <p>Fauna: Vertebrados</p> <p>Aves: se pueden agrupar en varios conjuntos: (1) las no paseriformes, (2) los Alaúdidos, (3) es el más heterogéneo, aunque con fuerte predominio de las aves insectívoras. A estos tres grandes grupos habría que añadir otra serie de especies que ocupan temporalmente estos medios.</p> <p>Mamíferos: en general escasos y con especies que difieren ligeramente dependiendo de la región: Liebre (<i>Lepus capensis</i>), Conejo (<i>Oryctolagus cuniculus</i>), el Ratón de campo (<i>Apodemus sylvaticus</i>), el Ratón moruno (<i>Mus spretus</i>), el Lirón careto (<i>Elyomis quercinus</i>), el Topillo (<i>Pythymis duodecimcostatus</i>), Topillo campesino (<i>Microtus arvalis</i>), la Musaraña común (<i>Crocidura russula</i>), la Comadreja (<i>Mustela nivalis</i>), el Tejón (<i>Meles meles</i>) y el Zorro (<i>Vulpes vulpes</i>).</p>
Datos antropológicos y sociológicos	<p>La importancia que ha adquirido la influencia humana sobre los ecosistemas en los últimos milenios hace muy difícil discernir qué estepas responden prioritariamente al efecto ambiental o son mayoría o parcialmente antrópicas. Los territorios esteparios mediterráneos presentan señales de haber sido ocupados por el hombre desde la antigüedad, ya que son áreas adecuadas para la ganadería y el cultivo de cereales. Por ello las comunidades esteparias han experimentado una notable extensión como consecuencia de la degradación edáfica que sobreviene tras los períodos de agricultura intensiva. La erosión de los suelos ha hecho aflorar en superficie margas y yesos que estaban recubiertos por suelos forestales.</p> <p>Cultivos de cereales de invierno (trigo, cebada y avena) con períodos de barbecho y rebaños de ganadería lanar o caprina constituyen el sistema de explotación tradicional de los territorios esteparios ibéricos.</p> <p>El estudio de población y actividades socioeconómicas de la zona, se basa en datos recogidos de estadísticas para aquella/s región/es en las que existen zonas esteparias [AEA, 1995] y [Gourmet, 1999].</p> <p>Los datos sobre densidad media de población, actividades productivas mayoritarias, aprovechamiento del área de secano y de regadío, porcentaje de superficie de cultivo y rendimiento de los cultivos para las diferentes variedades, censo ganadero para producción (por unidades/km²) se incluye en [CIEMAT/DIAE/PIRA/15/99]. La tabla 2 recoge los consumos medios por persona y año.</p>

Tabla 2
Consumo de alimentos por persona y año en las estepas Ibéricas.

Alimento	kg año ⁻¹
Cereales	105
Patatas	66
Legumbres	11,5
Vegetal de hoja	16
Vegetal de fruto	71
Cítricos	30,5
Frutales no cítricos	48,5
Carne vacuno	6
Carne ovino (cordero)	1,5
Carne porcino	11
Carne ave	22
Pescado (agua dulce)	0,5
Huevos	270 unidades/año
Leche	120 l/año (6% de cabra)

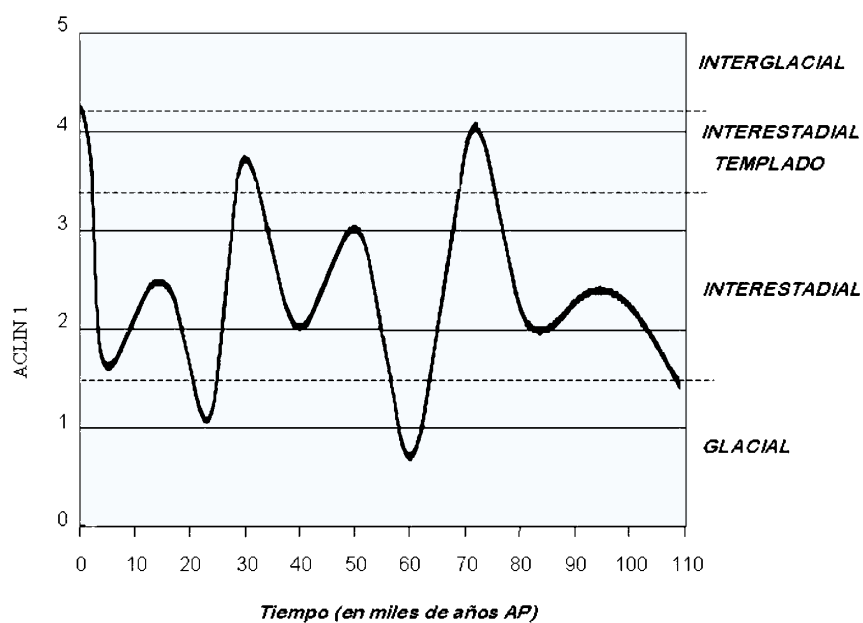


Figura 1. Variación del índice ACLIN1 para la secuencia climática de los próximos 110.000 años.

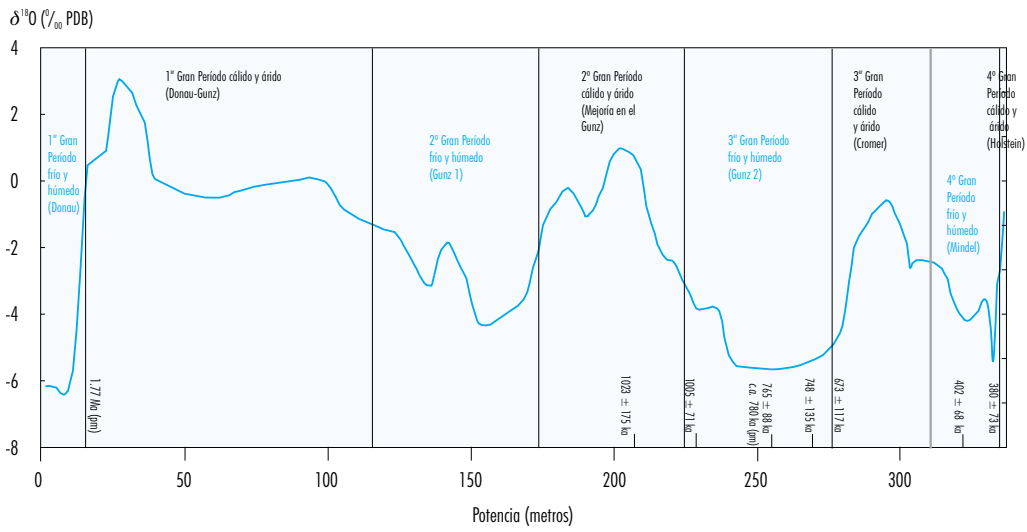


Figura 2. Curva suavizada de la $\delta^{18}O$ en la cuenca de Cúllar-Baza, con los grandes períodos fríos y húmedos y áridos y cálidos, correlacionados con los períodos glaciares e interglaciares de Europa central.

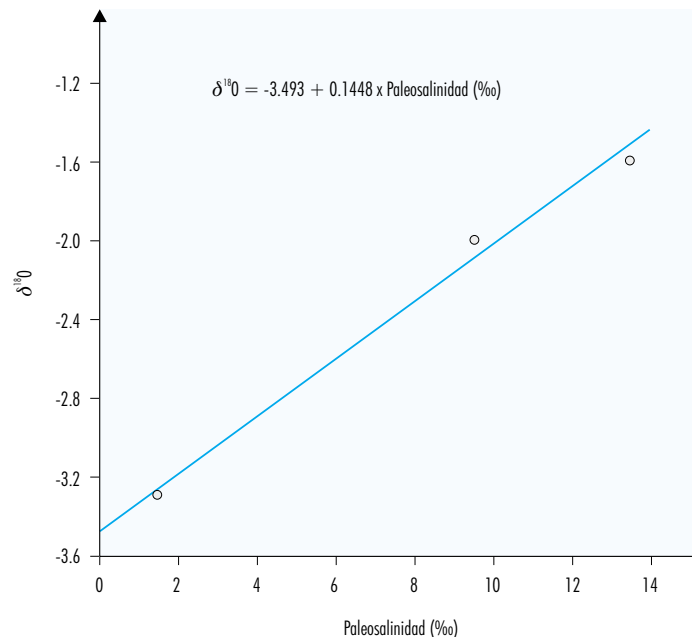


Figura 3. Correlación entre la $\delta^{18}O$ de ostrácodos y la paleosalinidad medidas en los cristales de yeso intrasedimentario.

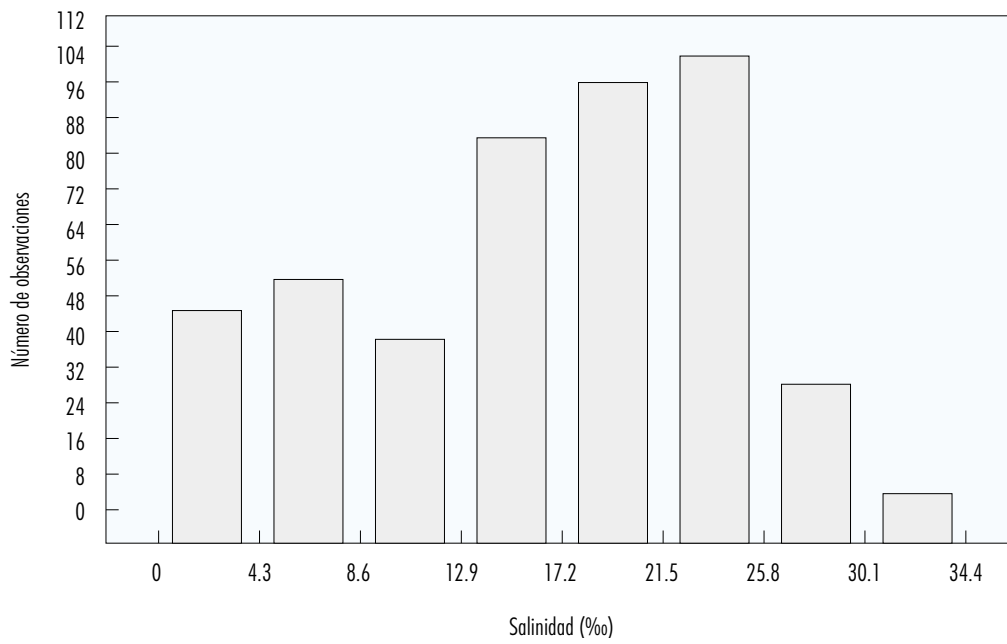


Figura 4. Histograma de paleosalinidad de las muestras estudiadas.

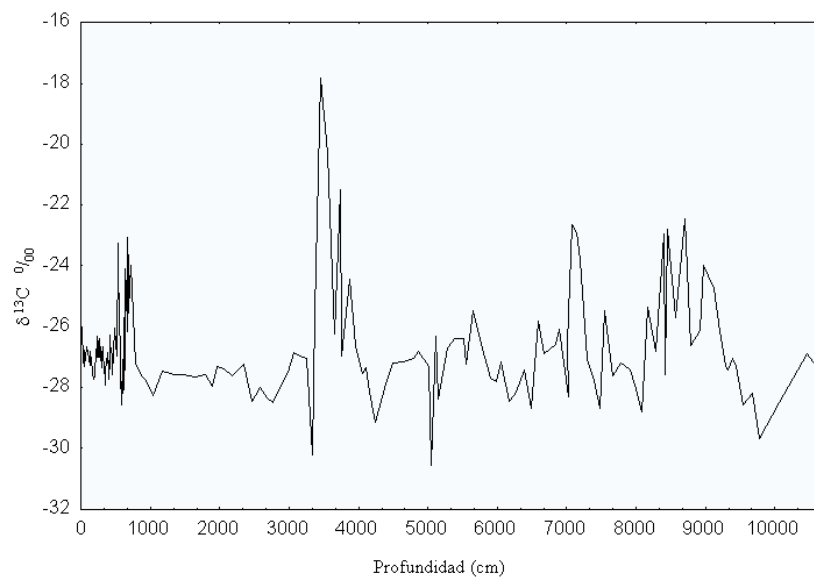


Figura 5. Evolución de la $\delta^{13}C$ (‰ PDB) a lo largo del sondeo de Padul.

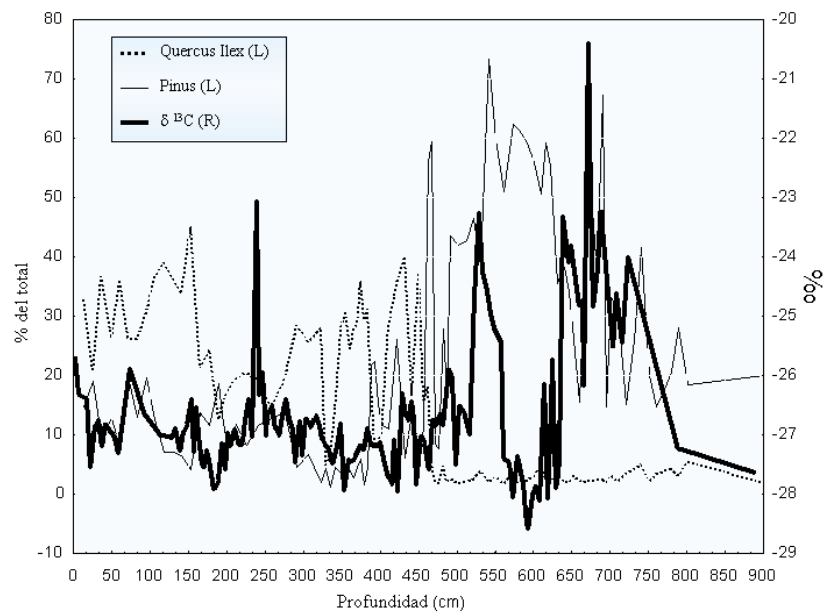


Figura 6. Respuesta local $\delta^{13}C$ al cambio climático frente a dos especies arbóreas (Pinus, clima frío, y Quercus Ilex clima cálido) con respuesta regional, más tardía.

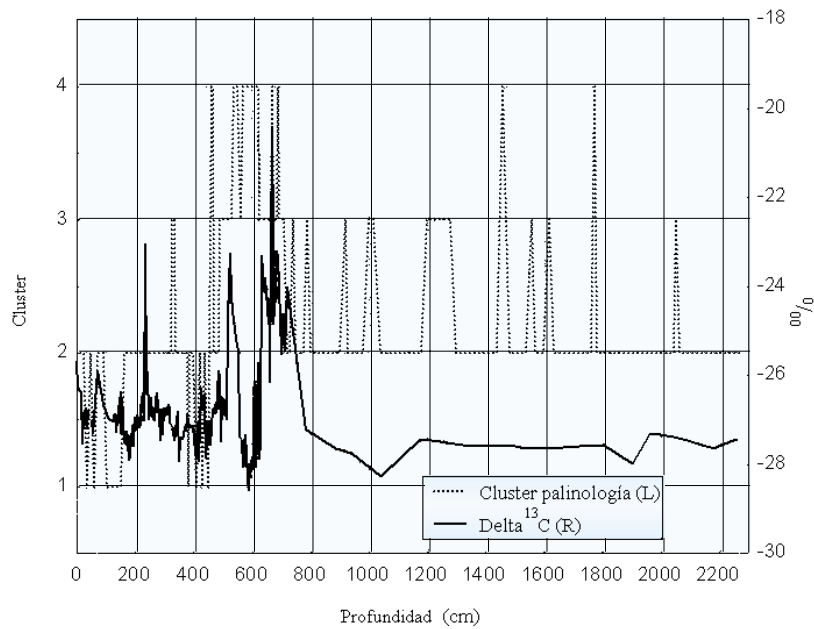


Figura 7. Cluster de los datos palinológicos tomados de Pons & Reille. Clusters de 1 a 4 (cálido a muy frío).

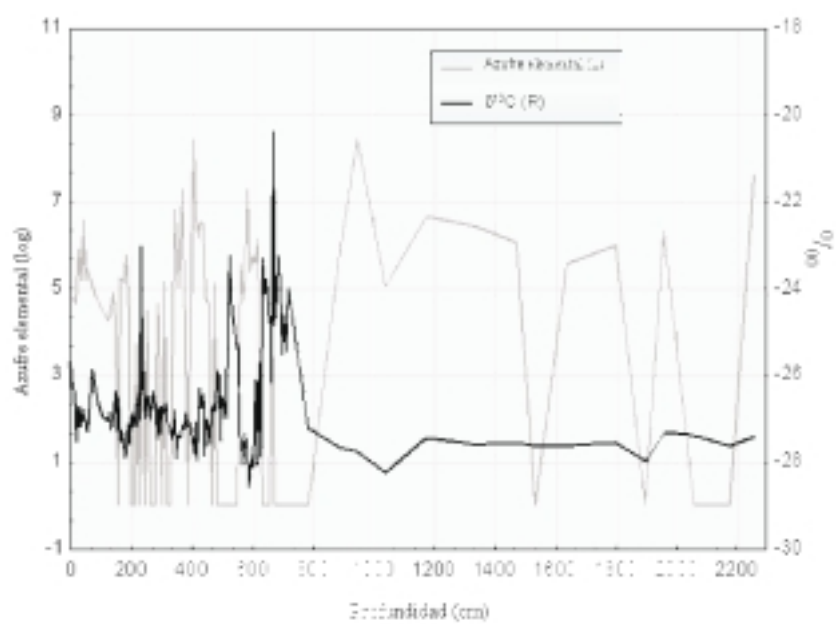


Figura 8. Variación de la cantidad de azufre elemental, obtenido por GC-MS, que, apoyado por el $\delta^{13}\text{C}$, muestra las fluctuaciones y condiciones de la lámina de agua en la turbera en la deposición.