

### **III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

---



En este Capítulo de *Discusión* se ofrece una interpretación integrada de los resultados de los cuatro artículos que conforman el Capítulo anterior. Se destacan las aportaciones de esta Tesis, tanto desde el punto de vista metodológico como estrictamente científico.

## 1. METODOLOGÍA APLICADA

### 1.1. Difracción de rayos láser para el análisis granulométrico de sedimentos finos

En esta Tesis se ha evaluado la capacidad de un **difractómetro de rayos láser** para realizar análisis granulométricos de sedimentos finos, en términos de precisión, exactitud y resolución. Los resultados obtenidos muestran que el instrumento examinado, el Coulter LS100 del *Departamento de Estratigrafía, Paleontología y Geociencias Marinas* de la *Universidad de Barcelona*, es indicado para este tipo de análisis, si bien hay que tener muy en cuenta determinadas cuestiones. El análisis granulométrico de sedimentos marinos con una finalidad paleoclimática requiere una selección del lugar de extracción de los testigos muy rigurosa con el fin de evitar influencias de otros tipos de aportes, como turbidíticos y de corrientes de fondo. Además, la preparación de las muestras de sedimentos finos debe ser llevada a cabo adaptando la metodología general a cada caso particular. De este modo se asegura, por ejemplo, una buena disolución del carbonato<sup>29</sup> o la total disgregación del sedimento. Se ha detectado que la preparación previa de las muestras tiene una gran influencia en el resultado final del análisis granulométrico de sedimentos finos, cuando predominan limos finos y arcillas (Tabla 6 y Figura 28).

Se han comprobado, asimismo, la **precisión y la exactitud** del Coulter LS100 mediante la repetición de análisis en muestras naturales y en estándares certificados. La exactitud y la precisión de los análisis en muestras artificiales de estándares certificados y microesferas de vidrio son altamente satisfactorias, lo que permite comprobar sin ambigüedad el correcto funcionamiento del instrumento para diferentes rangos de tamaños. Sin embargo, el Coulter LS100 no muestra una gran reproducibilidad en los análisis de muestras naturales cuando éstas se sitúan en el intervalo de tamaño limo-arcilla. Esto se ha relacionado con el método de fraccionamiento de las muestras, con la preparación de las mismas, y con el propio instrumento. No obstante, la realización de análisis semejantes con otro instrumento más clásico en este tipo de estudios, como el Sedigraph 5100, y la obtención de resultados menos precisos que los del Coulter LS100, indica que el margen de error en los análisis granulométricos con el Coulter LS100 es plenamente aceptable.

Tradicionalmente se ha objetado la falta de **resolución** de los sistemas de difracción de rayos láser para, por ejemplo, detectar subpoblaciones con distintas modas dentro de una distribución granulométrica (McCave *et al.*, 1986; McCave y Syvitski, 1991). En un experimento llevado a cabo en colaboración con la *Universidad Libre de Amsterdam* y la *Universidad de Utrecht* se analizaron en los respectivos difractómetros de rayos láser 50 muestras formadas por mezclas de microesferas de vidrio de diferentes tamaños. Se ha constatado así que el Coulter es un instrumento muy útil para resolver distribuciones de más de una moda. En las figuras 33A y B,

---

<sup>29</sup> El carbonato biológico, que principalmente procede de los foraminíferos y del nanopláncton, puede distorsionar la granulometría de la muestra, puesto que su tamaño de grano no indicará condiciones de transporte.

donde se muestran los resultados obtenidos, se observan problemas sólo cuando el porcentaje del estándar más grueso es pequeño. En esos casos, el Coulter LS100 no detecta la presencia de dos modas, sino que proporciona una distribución granulométrica unimodal, con la moda algo desplazada. Para el resto de las mezclas, la distribución medida o se acerca mucho a la esperada, o se puede ajustar con el método de los mínimos cuadrados.

Además de lo ya indicado, los resultados derivados de la evaluación del Coulter LS100 permiten establecer una serie de premisas respecto a los análisis granulométricos llevados a cabo en esta Tesis (cf. Artículos 1 y 3 del capítulo de *Resultados*):

- Las granulometrías deben efectuarse sobre **muestra total y muestra no carbonatada** con el fin de detectar las posibles influencias de procesos de transporte ajenos a la decantación pelágica, como por ejemplo, el transporte por corrientes de fondo.
- Además de los parámetros granulométricos clásicos en Paleoclimatología, como la mediana o la moda, deben considerarse también la **clasificación del sedimento, el porcentaje de la fracción entre 10 y 63  $\mu$ m, el carácter uni o bimodal de las distribuciones, y la forma de las gráficas obtenidas**. Todas estas características aportan datos muy valiosos en la interpretación de los procesos de transporte y la identificación de las áreas fuente.
- Es conveniente realizar análisis **estadísticos** de los datos granulométricos, enfocados principalmente a la detección de subpoblaciones en las distribuciones granulométricas. El análisis de los *end-members* (cf. Apto. 3.1.6 y el Artículo 3 del capítulo de *Resultados*) ha puesto de manifiesto la utilidad de fraccionar en subpoblaciones las muestras estudiadas. Se facilita así enormemente la interpretación de los resultados. Los análisis estadísticos han sido particularmente relevantes en la interpretación del testigo del Mar de Alborán, dificultada por el predominio de las partículas de origen fluvial respecto al eólico.

La evaluación sistemática del funcionamiento del Coulter LS100 es necesaria de cara a obtener resultados interpretables desde un punto de vista paleoclimático en el amplio rango de tamaños medidos.

## **1.2. Ventajas e inconvenientes del análisis con escáner de fluorescencia de rayos X en relación con los métodos tradicionales**

La fluorescencia de rayos X es una de las técnicas analíticas más utilizadas para determinar la composición en elementos mayores y trazas de muestras geológicas. Sin embargo, su uso en sedimentos marinos presenta algunos problemas, relacionados principalmente con la gran cantidad de muestra necesaria para el análisis de los elementos traza, unos 5 gramos de sedimento seco. Recientemente se ha puesto en funcionamiento un instrumento conocido como **escáner de FRX** que, con una tecnología más moderna, proporciona una gran cantidad de datos en poco tiempo y con mucha resolución, ambos requisitos esenciales en los análisis paleoclimáticos de hoy en día (cf. Apto. 3.2.2).

Parte de los resultados de los análisis de FRX llevados a cabo siguiendo el método tradicional han sido empleados para calibrar el escáner de Bremen. Los valores obtenidos en el doble análisis de las muestras de los testigos GeoB 5559-2 y GeoB 4216-1 han sido muy similares (Figura 43). Este ejercicio ha permitido establecer la ecuación de una **recta de calibración** para las cuentas por segundo, que es la unidad en que proporciona los datos el escáner. Dicha recta permite convertir los valores del escáner a unidades del sistema internacional (Kuhlmann *et al.*, 2002).

Sin embargo, cabe considerar al escáner de FRX de la Universidad de Bremen como un instrumento aún en fase de desarrollo, con algunos problemas pendientes de solución. Así, a diferencia de las pastillas de superficie homogénea, seca y lisa que se emplean en la técnica tradicional (Figura 39), las muestras analizadas con el escáner de FRX no cumplen ninguna de estas condiciones. La superficie del sedimento en las secciones abiertas de testigos marinos suele ser heterogénea, algo rugosa y con un grado de humectación variable. Por otra parte, hasta la fecha no se ha conseguido medir con exactitud la concentración de los elementos más ligeros que el K. Quedan así fuera de las posibilidades actuales del instrumento elementos como el Si o el Al, que tan útiles son en la interpretación del componente detrítico. Nuestra colaboración con el equipo de la Universidad de Bremen se refleja en un artículo metodológico, actualmente en la fase final de preparación, que será enviado próximamente a la revista *Marine Geology*.

## 2. APORTES EÓLICOS: INTERPRETACIÓN PALEOCLIMÁTICA

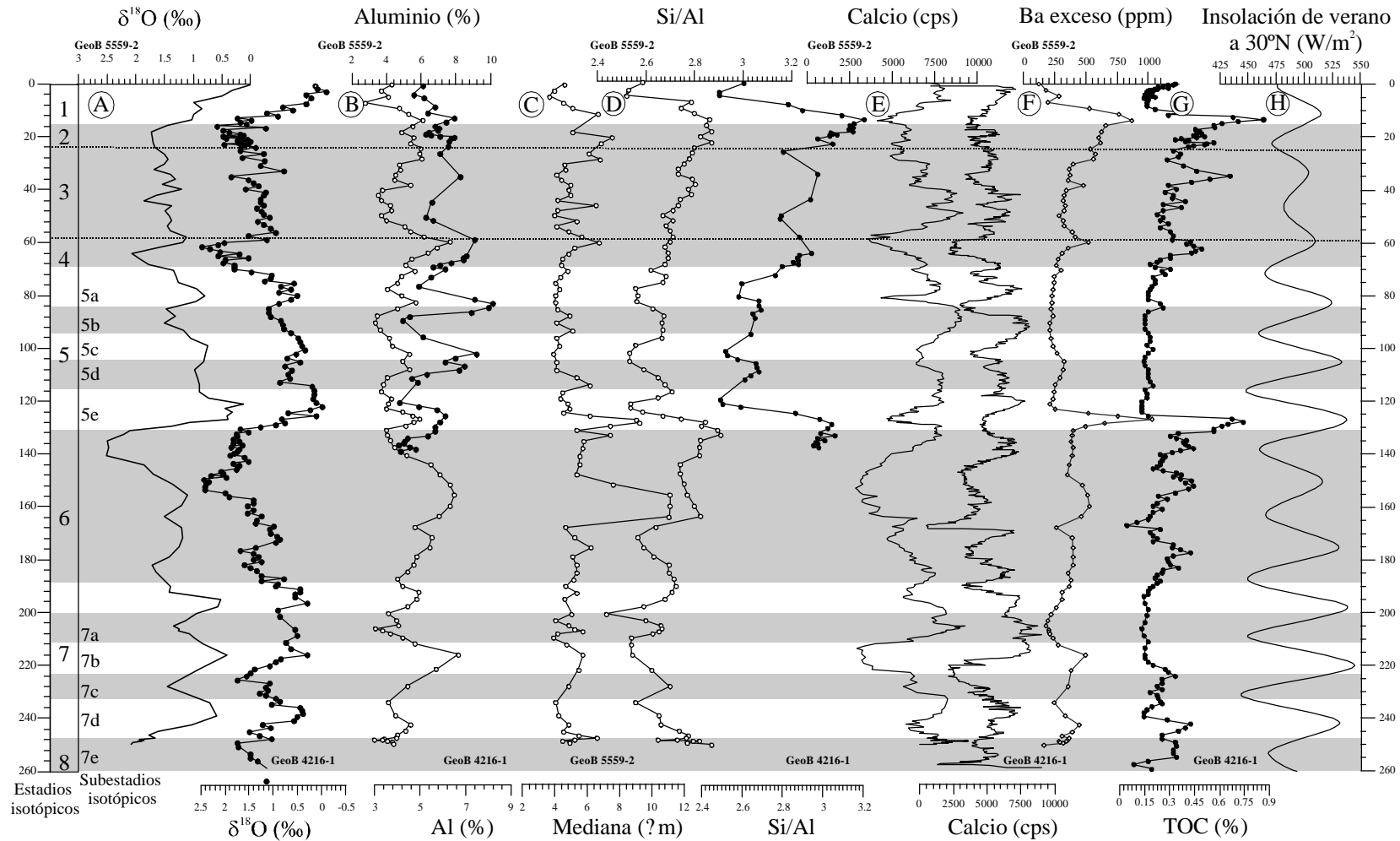
Esta Tesis se centra en la **reconstrucción del pasado climático en términos de aridez continental y de intensidad de los vientos** a partir del estudio de los aportes eólicos acumulados en sedimentos marinos profundos. Esta aproximación es especialmente válida en cuencas oceánicas relativamente próximas a grandes desiertos, como el Sahara, principal fuente de partículas eólicas en el Océano Atlántico y el Mediterráneo, tanto en la actualidad como en el pasado reciente. La Cuenca del Norte de Canarias y el Mar de Alborán aparecen así como lugares idóneos para llevar a cabo una Tesis de estas características.

A pesar de la notable cantidad de estudios llevados a cabo en el margen atlántico norte africano en relación con los aportes eólicos y la aridez de las áreas fuente (Diester-Haass, 1976; Hooghiemstra, 1988; Hooghiemstra, 1989; Kolla *et al.*, 1979; Sarnthein *et al.*, 1981; Sarnthein *et al.*, 1982a), muchas de las preguntas en ellos planteadas siguen sin una respuesta concluyente. Así, la correlación entre una mayor intensidad de los vientos y los estadios glaciales, tradicionalmente aceptada, está hoy bajo sospecha, al menos como patrón de funcionamiento general. Estudios más recientes han demostrado que en determinados lugares del margen norte africano occidental las mayores intensidades del viento se produjeron en las transiciones glacial-interglacial (Lézine y Denèfle, 1997; Martínez *et al.*, 1999). Los patrones locales, tanto oceanográficos como atmosféricos, parecen tener mucha importancia en los registros. En lo que respecta a la aridez continental, algunos autores consideran que está regida por los ciclos de 100,000 años (Sarnthein, 1978), mientras que otros la relacionan con los ciclos de precesión, vía la influencia de la insolación en los monzones africanos (Bozzano *et al.*, 2002; Matthewson *et al.*, 1995; McIntyre *et al.*, 1989; Pokras y Mix, 1985). El estudio de la fracción eólica de los sedimentos de la Cuenca del Norte de Canarias aporta nuevos datos y conclusiones con los que alimentar este debate. Nuestro principal objetivo fue, por tanto, el establecimiento de los **mecanismos climáticos** que conllevan variaciones en los aportes eólicos a distintas escalas

temporales. Se quiso indagar de este modo en las **conexiones climáticas entre latitudes altas y bajas**, aportando para ello datos acerca de las variaciones en la intensidad del sistema tropical de vientos alisios en un contexto de cambio global.

En los dos testigos de la Cuenca del Norte de Canarias (GeoB 5559-2 y GeoB 4216-1) se analizaron el tamaño de grano de la fracción detrítica y la composición en elementos mayores y traza (Figura 47). Hemos observado que la variación temporal de los parámetros estudiados está controlada por la precesión y la excentricidad, hecho claramente reflejado en los análisis espectrales (cf. Artículo 1, Figura 5). Llama particularmente la atención que los indicadores examinados están en fase con los máximos de insolación, es decir, con los valores mínimos del índice de precesión. Es en los periodos de tiempo con valores mínimos del índice de precesión (e.g. 6.000 años atrás) cuando los monzones africanos alcanzan su mayor expansión. Son, por tanto, épocas de mayor humedad en el Sahel, principal área fuente de partículas desérticas. El nivel de las aguas en los lagos africanos es también más alto cuando los valores del índice de precesión son mínimos (deMenocal *et al.*, 2000; Gasse y Van Campo, 1994). Los resultados obtenidos en la Cuenca del Norte de Canarias contradicen, aparentemente, uno de los postulados básicos de la paleoclimatología de los sedimentos eólicos: a mayor aridez en el área fuente, mayor producción de polvo. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que valores mínimos del índice de precesión implican también una marcada estacionalidad. A semejanza del transporte de polvo a largas distancias en la actualidad (cf. Apto. 2.3.2), esa mayor **estacionalidad** podría haber sido la responsable de un mayor aporte eólico a la Cuenca del Norte de Canarias.

Los resultados han sido interpretados considerando **dos situaciones meteorológicas** diferentes, de verano e invierno, que pudieron haber coexistido durante los periodos de valores mínimos del índice de precesión (cf. Artículo 1, Figura 8). La situación de **verano** muestra una intensificación notable de los vientos alisios en la zona de Canarias debido al fuerte contraste entre las presiones atmosféricas sobre el continente y el océano, como consecuencia de la mayor capacidad térmica de este último. Esta situación explicaría el aporte de polvo del Sahara a la Cuenca del Norte de Canarias. En el Sahel, las lluvias monzónicas aportarían humedad suficiente para que tuviera lugar una eficaz meteorización, generadora de partículas de polvo con un tamaño ideal para ser transportadas por el viento. Esta situación meteorológica no explica, sin embargo, otros registros con la misma señal de precesión situados a latitudes más bajas (Flores *et al.*, 2000; Matthewson *et al.*, 1995; Tiedemann *et al.*, 1989). En los **inviernos** de los periodos con valores mínimos del índice de precesión, las altas presiones de las Azores serían más débiles y estarían desplazadas hacia el sur y a la vez se intensificarían las altas presiones sobre el continente africano. Esta situación meteorológica es favorable al desarrollo de los vientos saharianos (cf. Apto. 2.3.2), que transportarían polvo mineral tanto a las latitudes ecuatoriales como, mediante su rama norte, a Europa. En este modelo, la alta estacionalidad alcanzada en los periodos con valores mínimos del índice de precesión favorecería simultáneamente la meteorización seguida de cierto transporte de polvo por los alisios en verano y un mayor transporte de polvo por los vientos saharianos en invierno.



**Figura 47.-** Indicadores de los aportes atmosféricos y la productividad oceánica obtenidos en los testigos GeoB 5559-2 y GeoB 4216-1 de la Cuenca del Norte de Canarias. (A) Isótopos del oxígeno. (B) Porcentaje de aluminio. (C) Mediana de la fracción terrígena. (D) Relación Si/Al. (E) Calcio, medido con el escáner de FRX. (F) Bario<sub>exceso</sub>. (G) Porcentaje de Carbono Orgánico Total, TOC. (H) Variación de la insolación de verano a 30°N.

La interpretación de los resultados obtenidos revela que **incrementos en la aridez del área fuente no conllevan necesariamente un mayor transporte de polvo desértico**. Se confirma así que es necesario contar con un mínimo grado de humedad que favorezca una meteorización generadora de partículas suficientemente pequeñas, susceptibles de ser transportadas por los vientos (Pye, 1987; Rea, 1994). El papel de la aridez del área fuente en los aportes eólicos no está claro todavía, y está siendo objeto de discusión a la luz de los resultados de algunos modelos climáticos según los cuales la intensidad de los vientos sería el principal factor condicionante de la acumulación de depósitos eólicos (Mahowald *et al.*, 1999; Reader *et al.*, 1999). En nuestra interpretación de los testigos de la Cuenca del Norte de Canarias se da también más importancia al contexto meteorológico que a la aridez del área fuente como elemento determinante de un mayor transporte eólico.

En la Cuenca del Norte de Canarias, los indicadores de la intensidad de los vientos presentan no sólo la señal de la precesión sino que tienen su **máximo en las terminaciones glaciales** (Figura 47). Nos referimos a indicadores como la variación de la mediana de las distribuciones granulométricas o la relación Si/Al. Aunque se observa un incremento general de los valores de estos indicadores durante los estadios glaciales, es al final de los mismos cuando se alcanzan los valores más altos. Los registros de productividad de la Cuenca del Norte de Canarias, ligados en gran medida al afloramiento costero generado por los vientos alisios, presentan el mismo patrón (Figura 47). En consecuencia, tanto los datos aportados por la fracción eólica como los indicadores de productividad revelan una intensificación de los alisios en las terminaciones glaciales y no en el Máximo Glacial, hipótesis postulada anteriormente en estudios de menor resolución temporal (Grousset *et al.*, 1998; Sarnthein *et al.*, 1981). Este hallazgo es relevante en la investigación de las interacciones entre aportes eólicos a la atmósfera y cambio climático, ya que puede ayudar a resolver si la mayor producción de polvo ligada a los estadios glaciales estuvo causada por un clima más árido y más frío, o si fue esta mayor producción de polvo la que desencadenó un cambio climático por interferencia con la radiación solar recibida por la Tierra<sup>30</sup>. Los resultados acerca de las variaciones climáticas en las terminaciones se discuten más adelante.

Las elevadas tasas de sedimentación del testigo MD 95-2043 del **Mar de Alborán** permiten abordar con mucha mayor resolución el tema de los mecanismos climáticos reguladores del aporte de polvo atmosférico y las teleconexiones con el clima de latitudes altas (Figura 48). La correlación entre los registros de la fracción eólica en el Mar de Alborán y el Índice de Circulación Polar, indicador de la circulación atmosférica sobre Groenlandia, demuestra que los cambios en la intensidad del transporte de polvo sahariano hacia el norte y los cambios en la circulación atmosférica en las latitudes altas se produjeron en paralelo, como mínimo en el intervalo comprendido entre 28.000 y 48.000 años antes de la actualidad. Esta observación pone de manifiesto una **rápida conexión climática**, a la escala de centenares de años, entre las latitudes altas y las bajas. Es también la primera vez que se constata que **el sistema de vientos saharianos es sensible a los ciclos de Dansgaard/Oeschger de escala milenaria**. La intensificación de la circulación atmosférica ligada a los eventos fríos de los ciclos de Dansgaard/Oeschger también ha sido inferida en otros registros eólicos, en regiones afectadas por los monzones y en el loess de China (An, 2000; Chen *et al.*, 1997; Leuschner y Sirocko, 2000; Wang y Oba, 1998). Estos resultados sugieren la existencia de mecanismos climáticos asociados

<sup>30</sup> Los datos obtenidos en los dos primeros artículos han pasado a formar parte de una amplia base de datos paleoclimáticos sobre aportes eólicos (DIRTMAP), que sirve de base para los modelizadores (ver también nota al pie nº 11 de la *Introducción*).



al transporte eólico capaces de generar o modular la variabilidad milenaria a escala planetaria. Así, Kudrass *et al.* (2001) han propuesto mecanismos de retroalimentación por los que las variaciones en la intensidad del monzón de verano, de gran importancia en el transporte de humedad hacia la atmósfera, influirían sobre la variabilidad climática del hemisferio norte. Dentro de esos mecanismos, el transporte atmosférico de polvo mineral jugaría un papel destacado. Los datos obtenidos en el Mar de Alborán son una pieza clave en el esfuerzo por conocer **el rol de los aportes eólicos en el cambio climático** a escala milenaria.

Resultados obtenidos a partir de modelos parecen indicar rápidas reorganizaciones atmosféricas a estas escalas milenarias, aunque no cambios sustanciales en la aridez de las zonas desérticas (Fuhrer *et al.*, 1999). Si bien la respuesta milenaria del Sahara en términos de variación de la aridez del área fuente no ha sido evaluada, un reciente estudio polínico llevado a cabo en el mismo testigo del Mar de Alborán revela fluctuaciones significativas en la vegetación de la zona más meridional de la Península Ibérica, indicando así cambios rápidos en la aridez (Sánchez-Goñi *et al.*, 2002). La obtención de registros de alta resolución en zonas bajo la influencia directa de las principales vías de aporte de polvo desértico, como los márgenes y cuencas del noroeste africano, ayudará a indagar acerca de la respuesta de la aridez sahariana ante los cambios climáticos milenarios.

La explicación de los mecanismos climáticos que justificarían esa intensificación atmosférica, paralela a los descensos de temperatura asociados a los periodos fríos, o estadales, de los ciclos de Dansgaard/Oeschger se comenta más adelante.

### 3. PRODUCTIVIDAD *VERSUS* PRESERVACIÓN

Desde hace millones de años, la productividad oceánica ha influido decisivamente en la composición de la atmósfera y en el clima terrestre (cf. Apto. 1.3.3). La composición de la atmósfera del pasado es conocida gracias al estudio de la composición isotópica de las burbujas de aire atrapadas en los testigos de hielo de Groenlandia y la Antártida. Se sabe así que en los últimos 160.000 años la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico sigue la ciclicidad glacial-interglacial (Barnola *et al.*, 1987). En los últimos años se ha puesto un gran empeño en comprender el intercambio de carbono entre el océano y la atmósfera, y en desentrañar el papel de la productividad oceánica en el **ciclo del carbono** (Figura 14). El incremento reciente del CO<sub>2</sub> atmosférico por la quema de combustibles fósiles constituye un nuevo elemento a tener en consideración (Houghton *et al.*, 2001). Por este motivo, es fundamental para predecir la evolución climática en el futuro, conocer los mecanismos que modifican la cantidad de CO<sub>2</sub> en el océano. Los afloramientos costeros son lugares de especial interés para los estudios de productividad por el papel que desempeñan en el ciclo del carbono, ya que actúan tanto de emisores como de sumideros de CO<sub>2</sub> (Martin *et al.*, 1987).

En Paleocceanografía, el tema de la paleoproduktividad se aborda sobretodo a partir del estudio de los **registros de carbono orgánico total** (TOC, de sus siglas en inglés). Sin embargo, la presencia de altos contenidos de TOC en el sedimento puede indicar tanto incrementos de la productividad superficial, como descensos en la cantidad de oxígeno en la interfase agua-sedimento. Este hecho es debido a la susceptibilidad de la materia orgánica a la degradación en presencia de oxígeno. Varios autores han demostrado que el registro del carbono orgánico en el

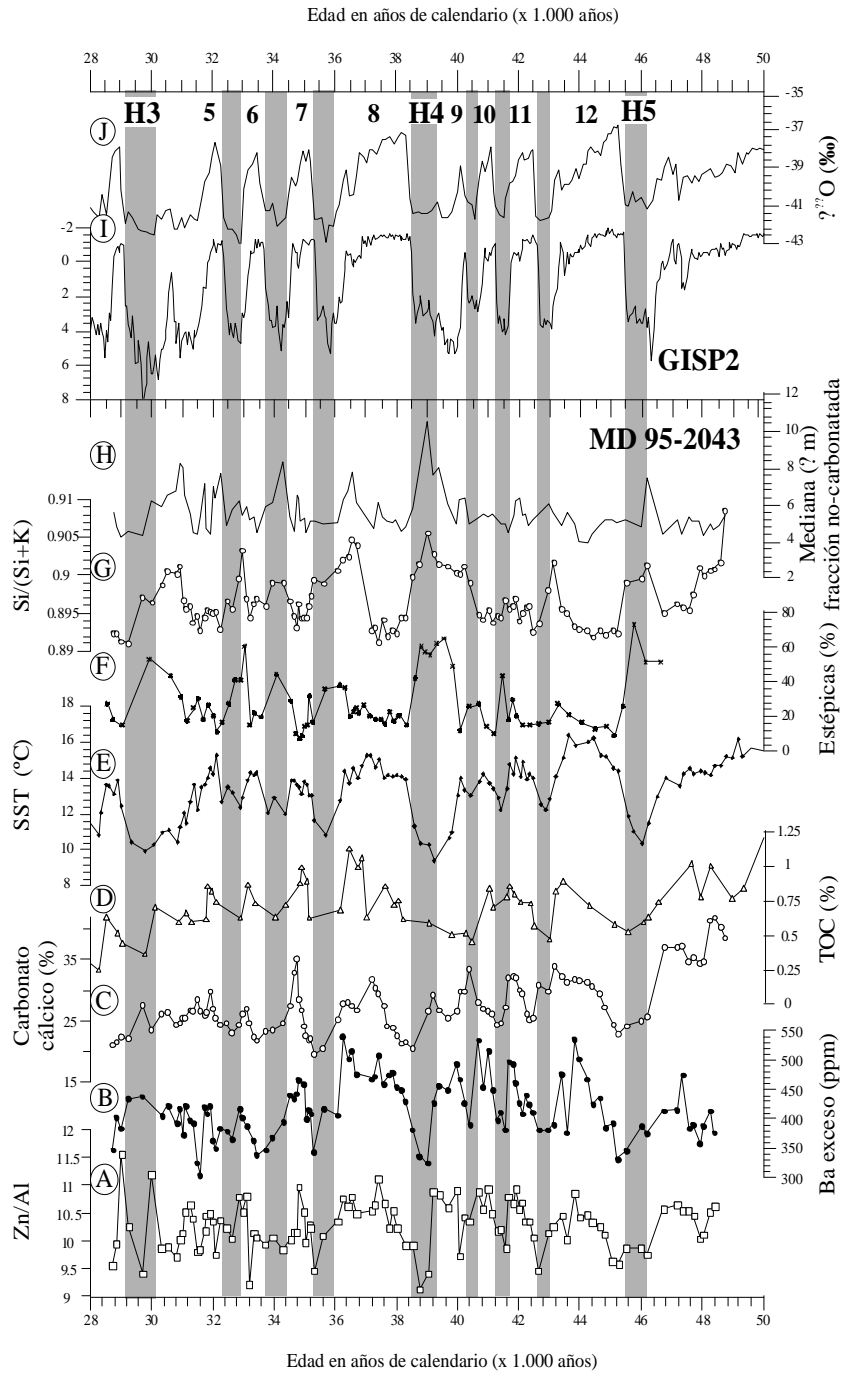
sedimento no está controlado por el contenido en oxígeno, sino por una combinación entre la dilución por otros compuestos, los aportes procedentes de la productividad y otros factores ligados a la textura del sedimento (Calvert y Pedersen, 1993; Martinez, 1997). Está generalmente aceptado en la actualidad que la anoxia no siempre es la causa de mayores contenidos en carbono orgánico sino la consecuencia, debido a la utilización del oxígeno en los procesos de mineralización de la materia orgánica (Demaison, 1991). Para obviar estas cuestiones, se está recurriendo cada vez más a la utilización combinada de varios indicadores de la productividad oceánica que se preservan selectivamente en función de las condiciones ambientales. La verdadera señal de productividad en el sedimento sólo puede ser identificada con fiabilidad a partir de la comparación de los resultados proporcionados por distintos indicadores, juntamente con el examen cuidadoso de las condiciones de preservación de cada uno de ellos.

En esta Tesis, el estudio de la variación de la productividad oceánica superficial se ha llevado a cabo tanto en los testigos de la Cuenca del Norte de Canarias como del Mar de Alborán (cf. Artículos 2 y 4 del capítulo de *Resultados*). En ambos casos, se ha procurado disponer del mayor número posible de indicadores con el fin de abordar con rigor el problema de la preservación y aislar la señal productiva de cambios diagenéticos (Figuras 47 y 48). El conocimiento tanto de las características de las masas de agua profundas como de los factores que determinan la preservación de cada indicador, han sido fundamentales en la interpretación de los resultados obtenidos.

El **contenido en carbonato** se ha usado también como indicador de productividad en áreas oligotróficas puesto que registra la abundancia de productores de carbonato, como los foraminíferos y los cocolitofóridos (Brummer y van Eijden, 1992; Rühlemann *et al.*, 1999). Los tres testigos estudiados proceden de profundidades situadas por encima de la lisoclina, por lo que cabe esperar que la disolución no sea el factor que controle el registro de carbonato<sup>31</sup>. Las curvas del carbonato cálcico en los testigos de la Cuenca del Norte de Canarias se ajustan a lo observado en otros testigos obtenidos más allá del margen africano: valores altos en los periodos cálidos, y bajos en los fríos (Figura 47). En trabajos anteriores, este patrón ha sido relacionado con la dilución producida por los aportes eólicos, tan importantes en la zona (Matthewson *et al.*, 1995). Eso significa que en los testigos de la Cuenca del Norte de Canarias el registro de carbonato no identifica la señal de productividad (cf. Apto 2.5.1. del Artículo 2). En el testigo de Alborán se produce una situación similar (Figura 48). Ahí, los valores altos de carbonato se correlacionan con las temperaturas marinas superficiales más cálidas. Además, el registro del carbonato es antagónico al del aluminio, indicador de aportes terrígenos. Por tanto, la dilución no debe ser descartada y la interpretación de la curva del contenido en carbonato sólo podrá efectuarse en relación con otros indicadores.

---

<sup>31</sup> En casos de intensa descomposición de la materia orgánica, el CO<sub>2</sub> generado podría intervenir en la disolución de carbonato (Reichert *et al.*, 1997). Sin embargo, los contenidos de materia orgánica en el sedimento no son suficientemente altos en ninguna de las dos zonas estudiadas.



**Figura 48.-** Indicadores de los aportes atmosféricos y la productividad oceánica obtenidos en el testigo MD 95-2043 del Mar de Alborán, y comparación con resultados del testigo de hielo de Groenlandia GISP2. (A) Relación Zn/Al. (B) Bario<sub>exceso</sub>. (C) Porcentaje de carbonato cálcico. (D) Porcentaje de Carbono Orgánico Total, TOC (Cacho *et al.*, 2000a). (E) Registro de las temperaturas superficiales marinas (Cacho *et al.*, 1999a). (F) Porcentaje de vegetación estépica (Sánchez-Goñi *et al.*, 2002). (G) Relación Si/Al. (H) Mediana de la fracción terrígena. (I) Índice de Circulación Polar y (J) perfil de la variación de los isótopos del oxígeno del testigo GISP2.

Para el estudio de la paleoproductividad de los tres testigos estudiados en esta Tesis disponemos de los **registros de TOC** (cf. Artículos 2 y 4 del capítulo de *Resultados*). Estos registros pueden ser interpretados, en primera instancia, en términos de variaciones de la productividad o de las condiciones de preservación. No obstante, en la Cuenca del Norte de Canarias los registros de TOC se han comparado con los de otros indicadores, mientras que en el Mar de Alborán se ha determinado la variación de las condiciones redox mediante el análisis de los isótopos del carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) en foraminíferos bentónicos (Cacho *et al.*, 2000a), y mediante el análisis de metales traza (V, Cr, Zn, Mn, Cu). Ambos procedimientos están encaminados a separar las señales diagenéticas y de productividad del registro paleoceanográfico.

En relación con el **registro de Bario**<sub>total</sub> se han calculado y separado la fracción ligada a la productividad y la fracción terrígena, tanto en los testigos de la Cuenca del Norte de Canarias, como en el del Mar de Alborán. Para ello se han usado las fórmulas de Dymond *et al.* (1992) y Gingele *et al.* (1999). El exceso de Bario,  $\text{Ba}_{\text{exceso}}$ , es un buen indicador de productividad ya que, si no se han alcanzado condiciones sulfatoreductoras, suele preservarse bien (Dymond *et al.*, 1992). La sulfatorreducción es la última etapa de la mineralización de la materia orgánica en medios marinos, cuando los procesos metabólicos bacterianos ya han consumido el oxígeno, los nitratos y los oxi-hidróxidos de Fe y Mn. En esa etapa final, la barita ( $\text{BaSO}_4$ ) se disuelve, aunque puede reprecipitar si se dan las condiciones favorables (Torres *et al.*, 1996). Este comportamiento conduce a la formación de picos de Bario que no pueden ser atribuidos a incrementos de productividad sino a frentes de precipitación, generalmente situados encima de capas muy ricas en materia orgánica, como los sapropeles (Van Os *et al.*, 1991). Por lo tanto, debe descartarse el uso del Bario como indicador de productividad en áreas costeras muy productivas, donde se pueden alcanzar condiciones de insuficiencia de oxígeno (Francois *et al.*, 1995). Es, pues, evidente que el  $\text{Ba}_{\text{exceso}}$  y el TOC se comportan de un modo completamente diferente ante las condiciones redox y por ello se pueden usar complementariamente en la interpretación de los resultados. La gran similitud entre los registros de  $\text{Ba}_{\text{exceso}}$  y los de TOC en las dos zonas de estudio descarta la influencia de procesos postdeposicionales e identifica la señal de productividad (Figuras 47 y 48).

En la Cuenca del Norte de Canarias, el hecho de disponer de dos testigos ha permitido estudiar la variabilidad espacial de la señal de productividad. Así, el testigo GeoB 4216-1, influido directamente por el **filamento de aguas afloradas de Cabo Ghir** (cf. Apto. 2.2.1). La tasa de sedimentación es también mayor en el testigo GeoB 4216-1 que en el GeoB 5559-2. El contraste entre las tasas de sedimentación, de unos 5 cm/1.000 años a 2,5 cm/1.000 años, podría ser la causa subyacente de la mayor degradación de la materia orgánica en el testigo GeoB 5559-2. Menores tasas de sedimentación facilitan la penetración del oxígeno en el sedimento, con la consiguiente degradación de la materia orgánica. La correlación entre el TOC y el Bario biogénico en el testigo con mayor tasa de sedimentación es obvia, en cambio, no es buena en el testigo con menor tasa de sedimentación (cf. Figura 3, Artículo 2). La hipótesis de la penetración del oxígeno está basada en la dinámica de los frentes de oxidación. Según Kasten *et al.* (2001) tasas de sedimentación bajas junto con el incremento de oxígeno en la columna de agua, conllevan a la formación de frentes de oxidación progresivos que provocan la disolución y la reprecipitación de los elementos sensibles a los cambios de las condiciones redox. Por tanto, en las zonas con tasas de sedimentación bajas, no cabe esperar que el carbono orgánico y el Bario proporcionen la misma señal.

En el testigo del **Mar de Alborán**, los incrementos de TOC coinciden con mejores condiciones de preservación para la materia orgánica, es decir, aguas de fondo menos oxigenadas. Por ese motivo, se necesitan indicadores adicionales de productividad que no se vean afectados del mismo modo por la ventilación del fondo. Los perfiles de  $Ba_{\text{exceso}}$  y  $Zn/Al$  de este testigo son consistentes con las variaciones en el TOC y las alquenonas proporcionados por Cacho *et al.* (2000a). Estos indicadores muestran valores más altos durante los periodos interstadiales cálidos de los ciclos de Dansgaard/Oeschger. Además, el análisis de elementos sensibles a los cambios de las condiciones redox, como el Mn, el V, el Cr, o el Cu, demuestra que durante el intervalo de tiempo estudiado no hubo sulfatoreducción. Este resultado refuerza el uso de  $Ba_{\text{exceso}}$  como indicador de paleoproductividad en el Mar de Alborán. Todo apunta a que la productividad registrada en el testigo MD 95-2043 sufrió variaciones ligadas a los ciclos de Dansgaard/Oeschger con valores más elevados durante los periodos cálidos. Los mecanismos desencadenantes de estos cambios de productividad se describen más adelante.

#### 4. MECANISMOS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS “ABRUPTOS”

En este punto de la Discusión, el concepto de cambio “abrupto” incluye tanto las terminaciones glaciales como la variabilidad milenaria del Estadio Isotópico 3. La explicación de los mecanismos climáticos responsable de estos eventos está plenamente abierta en la actualidad (cf. Apto. 1.2.2). Esta Tesis aporta nuevos elementos para el debate y la resolución final del mismo.

##### 4.1. Terminaciones glaciales

Como ya se ha señalado, los indicadores de aportes eólicos y de productividad de los dos testigos de la Cuenca del Norte de Canarias tienen sus máximos situados en las terminaciones glaciales, indicando así un aumento de los alisios durante esos eventos (Figura 47). Aunque se han barajado varias hipótesis (cf. Apto de Discusión de los Artículos 1 y 2), consideramos que la más pausable a la luz de los datos actuales es la que atribuye el refuerzo de los alisios al descenso de las temperaturas marinas superficiales provocado por la fusión del manto polar de Groenlandia y a los cambios en la circulación termohalina. En este contexto, el enfriamiento de la superficie del océano habría reforzado las altas presiones sobre el Atlántico Norte, induciendo así la intensificación de los vientos alisios.

Esta conexión entre las temperaturas oceánicas superficiales frías e intensificación de los vientos alisios también ha sido puesta de manifiesto al otro lado del Atlántico Norte. Así, Hughen *et al.* (1996) y Overpeck *et al.* (1989) detectaron incrementos de las tasas de afloramiento en el Atlántico Occidental tropical durante la terminación I y el *Younger Dryas*, que atribuyeron a aumentos en la intensidad del sistema de los vientos alisios. Los mismos autores postulan el acoplamiento climático entre las latitudes altas del Atlántico Norte y el cinturón tropical durante la última desglaciación. Esta teleconexión sería posible gracias a la influencia que ejercen las temperaturas superficiales del Atlántico Norte sobre los vientos alisios y los monzones tropicales. Nuestros resultados permiten extender esta interpretación, establecida inicialmente para la terminación I, a los tres últimos ciclos glaciales.

Nuestra hipótesis está, además, fuertemente apoyada por los resultados de modelos (deMenocal, 1995), de estudios paleoclimáticos (Lamb *et al.*, 1995; Street-Perrot *et al.*, 2000), y climáticos (Brooks, 2000; Folland *et al.*, 1986) acerca de las conexiones entre los climas del Atlántico Norte y el trópico. Todos estos trabajos resaltan las relaciones causa-efecto entre las temperaturas marinas superficiales del Atlántico Norte, la intensidad de los vientos alisios, y la aridez en el Sahel. Estas evidencias, y la gran cantidad de registros del cinturón tropical presentados en los últimos años, que prueban la sincronía con las latitudes altas (Peterson *et al.*, 2000; Vink *et al.*, 2001), demuestran la participación de los trópicos en los cambios climáticos de gran escala. Sin embargo, está todavía por resolver si el papel jugado por las latitudes tropicales en estos cambios climáticos es el de mero “participante” o el de “causante principal” (Kerr, 2001).

#### 4.2. Variabilidad milenaria en el Estadio Isotópico 3.

En la Figura 48 se han representado las curvas de los principales indicadores estudiados en el testigo del Mar de Alborán, así como dos de registros del testigo de hielo GISP2: la curva de  $\delta^{18}\text{O}$  y el Índice de Circulación Polar. La variabilidad milenaria asociada a los ciclos de Dansgaard/Oeschger es evidente en todos estos registros. No obstante, a pesar de reconocerse su alcance global, aún no se conoce el mecanismo causante de esta variabilidad ni tampoco cuáles son los mecanismos de transferencia interlatitudinales (Sarnthein *et al.*, 2002; Schulz, 2002a). Por su posición en la zona de intersección de los sistemas climáticos subtropical y de latitudes altas, el testigo del Mar de Alborán permite relacionar los dos sistemas climáticos. Además, el Mar Mediterráneo, por su carácter semicerrado, es especialmente sensible a los cambios climáticos. Por último, la gran cantidad de variables estudiadas en el testigo MD 95-2043 permite indagar en las relaciones de fase entre los sistemas marino y terrestre, sin problemas debidos a distintos modelos de edad. Constituye, por tanto, un testigo idóneo para aportar así nuevas perspectivas al estudio de la variabilidad de escala milenaria.

El conjunto de datos obtenidos puede ser interpretado considerando **dos escenarios** asociados, respectivamente, a un estadal y a un interestadal dentro de un ciclo de Dansgaard/Oeschger hipotético. En ambos escenarios se han contemplado las variaciones de la circulación tanto atmosférica como oceánica. La definición de estos dos escenarios se ha basado principalmente en los actuales mecanismos climáticos y en los resultados de los primeros modelos climáticos con resolución milenaria (Ganopolski and Rahmstorf, 2001). La gran cantidad de datos disponibles y el progreso del conocimiento científico acerca de esta temática desarrollado en los últimos años apoyan la interpretación realizada evitando un exceso de especulación (cf. Apto. de Discusión, Artículos 3 y 4).

La intensificación de la circulación atmosférica durante los periodos glaciales se debe a la mayor extensión de la célula polar y a la aparición de un gradiente térmico más acusado. Como algunos estudios de detalle se han encargado de demostrar, esta situación también se da durante los eventos fríos, o estadales, de los ciclos de Dansgaard/Oeschger. La intensificación atmosférica durante los estadales, Eventos de Heinrich incluidos, se desprende tanto de los testigos de hielo de Groenlandia como de los testigos de regiones monzónicas (An, 2000; Mayewski *et al.*, 1997; Wang y Sarnthein, 1999). En nuestro testigo del Mar de Alborán hemos detectado un incremento en la intensidad tanto de los vientos del noroeste (Cacho *et al.*, 2000a) como de los vientos del Sahara durante esos eventos fríos. Esta situación es coincidente con una

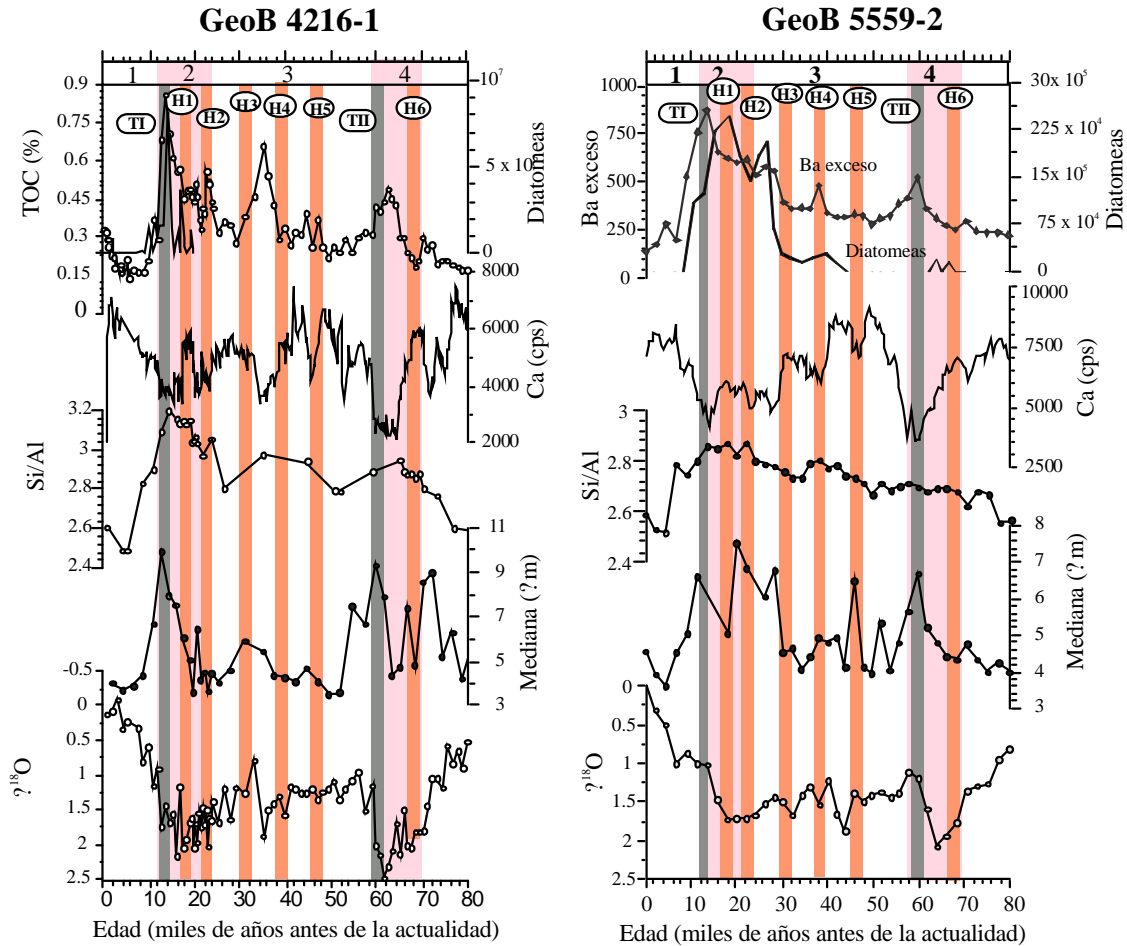
mayor aridez en la zona sur de la Península Ibérica (Sánchez-Goñi *et al.*, 2002). Estas alteraciones climáticas se explicarían por la existencia de un mayor gradiente térmico en el Atlántico Norte. La ralentización, o incluso la parada, de la circulación termohalina coincidiendo con los Eventos de Heinrich y los estadiales de los ciclos de Dansgaard/Oeschger (Boyle, 2000; Elliot *et al.*, 2002), habría conllevado un enfriamiento del Atlántico Norte al haber disminuido el transporte de calor desde las latitudes bajas (Schiller *et al.*, 1997; Seidov y Maslin, 2001). En este escenario, el gradiente de presión atmosférica debió aumentar y, por tanto, los vientos del noroeste se debieron intensificar. Esta es también una situación favorable para el transporte de polvo desde el Sahara hasta Europa (Moulin *et al.*, 1997b). Esto explicaría la **sincronía detectada entre los registros de Groenlandia y del Mar de Alborán**, no sólo en lo que se refiere a las temperaturas (Cacho *et al.*, 1999a) sino también en lo que respecta a la intensificación de los sistemas de vientos involucrados.

Por el contrario, los **interestadiales** se habrían caracterizado por gradientes de presión atmosférica débiles en el Atlántico Norte, favorecedores del desplazamiento hacia el sur de los vientos del noroeste. Esta situación conllevaría mayores precipitaciones en la región Mediterránea, como así lo ha demostrado el estudio polínico llevado a cabo por Sánchez-Goñi *et al.* (2002). La mayor cercanía de los vientos del noroeste a la latitud del Estrecho de Gibraltar, junto con el incremento de los nutrientes de origen fluvial, podrían ser los causantes de los aumentos de productividad oceánica detectados en el testigo MD 95-2043 (Figura 48). Los resultados que hemos obtenido en el Mar de Alborán no sólo quedan integrados en el contexto climático del Atlántico Norte sino que demuestran la existencia de una conexión con las latitudes subtropicales.

A pesar de las similitudes observadas (Figura 48), la evolución de las temperaturas en los interestadiales no es igual en el testigo del Mar de Alborán que en el testigo de hielo GISP2. Cacho *et al.* (1999a) pusieron de manifiesto que mientras en Groenlandia los máximos de temperatura se alcanzaban de un modo brusco y al principio de los interestadiales, en Alborán el calentamiento era gradual y llegaba al máximo sólo al final de los interestadiales. El estudio de nuevos indicadores en el testigo MD 95-2043 nos ha permitido identificar dos patrones evolutivos distintos durante los interestadiales, ilustrados por el 8 y el 12, que son los de mayor duración. Por un lado, los indicadores de productividad se comportan igual que las temperaturas superficiales del mar (SST). Por otro lado, los indicadores de condiciones áridas y transporte eólico siguen la pauta marcada por el testigo GISP2 (cf. Figura 6, Artículo 4). Podemos diferenciar, por tanto, dos sistemas en función de su respuesta a los cambios globales de escala milenaria, un sistema con una respuesta similar a las latitudes altas (GISP2) y a regiones de influencia monzónica, y otro sistema particular de la región del Mar de Alborán. Para discernir si realmente el Mediterráneo responde de manera peculiar a los cambios globales, será necesario estudiar más testigos de alta resolución obtenidos en lugares estratégicos de la cuenca.

Queda por determinar si los rápidos cambios de aridez observados en la Península Ibérica también tuvieron lugar en las áreas fuente del polvo eólico en el desierto del Sahara. Se necesitaría para ello testigos del margen del noroeste africano que alcanzaran una resolución milenaria. Los testigos GeoB 4216-1 y GeoB 5559-2 analizados en esta Tesis tienen una resolución menor, y no permiten indagar en la variabilidad milenaria asociada a los Eventos de Heinrich y a los ciclos de Dansgaard/Oeschger. Sin embargo, los resultados de la Figura 49 sugieren la existencia de cambios abruptos en la intensidad de los vientos y en la aridez del Sahel durante el Estadio Isotópico 3 en sincronía con los observados al sur de la Península Ibérica. Estas

variaciones se explicarían del mismo modo que la intensificación de los vientos alisios durante las terminaciones (cf. Apto. anterior). El enfriamiento de las SST ligado a la reducción de la circulación termohalina junto con el transporte de aguas más frías hacia el sur a cargo de la corriente de Canarias, habrían reforzado las altas presiones del Atlántico Norte y, en consecuencia, los vientos alisios.



**Figura 49.-** Indicadores seleccionados de los dos testigos de la Cuenca del Norte de Canarias que ilustran cambios abruptos en el Estadio Isotópico 3. Los eventos ligados a las terminaciones glaciales I y II se han marcado como TI y TII, respectivamente. Los Eventos de Heinrich se indican con la letra H (de H1 a H6). Las edades de dichos eventos se han extraído del testigo más meridional en el que se han identificado capas de IRD (Cayre *et al.*, 1999).



## **IV. CONCLUSIONES**

---



En esta Tesis se ha demostrado que tanto el difractómetro de rayos láser (Coulter LS100) como el modelo empleado para calcular los *end-members* de las distribuciones granulométricas constituyen herramientas sólidas para la interpretación de la señal paleoclimática en la fracción terrígena de sedimentos marinos finos. Nuestros resultados analíticos de elementos mayores y traza obtenidos por medio del método tradicional de FRX han servido, adicionalmente, para calibrar el escáner de FRX de la Universidad de Bremen mediante la construcción de una recta de regresión válida para testigos de la Cuenca del Norte de Canarias.

El análisis granulométrico y geoquímico de dos testigos marinos de la Cuenca del Norte de Canarias (GeoB 5559-2 y GeoB 4216-1) y de un tercer testigo marino del Mar de Alborán (MD 95-2043) ha permitido inferir los mecanismos causantes de las variaciones climáticas de escala glacial/interglacial y milenaria, respectivamente, en términos de intensidad de vientos, aridez del área fuente y productividad oceánica. Una mayor aridez en las zonas del Sur del Sahara y Sahel, áreas fuente del polvo desértico que llega a la Cuenca del Norte de Canarias, no implica necesariamente una mayor exportación de material eólico. Es más, los flujos de polvo del Sahara más altos tienen lugar durante los periodos más húmedos de los ciclos de 23.000 años, correspondientes a mínimos en el índice de precesión. Se trata de periodos marcados por máximos en la insolación de verano en el hemisferio norte que implican, por tanto, una mayor estacionalidad en el área fuente. Esto se traduce en una alternancia de periodos húmedos, en los que se generan y acumulan partículas susceptibles de ser transportadas por los vientos, y de periodos de intensificación de los vientos a favor de la situación meteorológica dominante. La sucesión entre estos dos escenarios es el mecanismo propuesto en esta Tesis para incrementar el transporte de polvo a largas distancias.

Tanto los indicadores eólicos como de productividad oceánica superficial en la Cuenca del Norte de Canarias señalan que los vientos alisios de las zonas tropicales responden a los ciclos climáticos de 100.000 años, debidos a la excentricidad de la órbita terrestre. Los vientos se intensifican durante los estadios glaciales, pero alcanzan su máximo en las transiciones a los interglaciales. Este incremento brusco en la intensidad del sistema de vientos estaría relacionado con el descenso de las SST en el Atlántico Norte por la fusión del manto polar de Groenlandia en las terminaciones y la consiguiente intensificación del Anticiclón de las Azores. Queda establecida así una conexión atmosférica y oceanográfica entre latitudes altas y tropicales durante las terminaciones, y se pone de manifiesto la importancia del papel de los trópicos en el cambio climático.

El cambio climático sincrónico entre latitudes altas y tropicales se ha detectado también a la escala de los ciclos de Dansgaard/Oeschger. El registro del Estadio Isotópico 3 en el Mar de Alborán evidencia que el transporte de polvo sahariano hacia el Mediterráneo tuvo lugar en mayor medida durante los periodos fríos y secos, estadales, de los ciclos de Dansgaard/Oeschger. La intensificación de los vientos saharianos y de la circulación atmosférica de las latitudes altas, registrada en los testigos de hielo de Groenlandia es, por tanto, simultánea. Estos cambios rápidos y sincrónicos en el sistema de vientos implican una conexión a través de variaciones en los gradientes entre los centros de altas y bajas presiones atmosféricas que se desarrollan sobre el Atlántico Norte. Estos gradientes se pueden alterar a través de variaciones en la circulación oceánica. Hay evidencias de que durante los periodos fríos de los ciclos de Dansgaard/Oeschger la circulación termohalina del Atlántico Norte disminuyó. Este escenario implica un enfriamiento en el Atlántico Norte y, por tanto, un aumento en el gradiente de presión atmosférica interlatitudinal. La integración de los datos del testigo MD 95-2043 y del testigo de hielo GISP2

sugiere que este escenario es favorable al incremento del transporte de polvo sahariano y de la aridez en el sur de la Península Ibérica. De este modo, se demuestra por primera vez la sensibilidad del sistema de vientos del Sahara a la variabilidad milenaria de los ciclos de Dansgaard/Oeschger.

Las variaciones de productividad en el Mar de Alborán también están ligadas a los ciclos de Dansgaard/Oeschger de variabilidad milenaria. En este caso, los máximos en la productividad se sitúan al final de los periodos más cálidos y húmedos, o interestadiales, al igual que los máximos en las SST obtenidas mediante el índice  $U^k_{37}$ . Estos cambios en la productividad están relacionados tanto con los nutrientes aportados por los ríos, más abundantes durante los interestadiales, como con la posición de los vientos contralisios. Este sistema de vientos, que se habría desplazado hacia el sur por la disminución del gradiente de presión interlatitudinal en los interestadiales, indujo un afloramiento más intenso en las costas de Málaga y en los giros anticiclónicos del Mar de Alborán. Esta señal de productividad se distribuye a lo largo del margen norte de Alborán tal como han demostrado estudios recientes a partir de imágenes de satélite y trampas de sedimento. Además, hay evidencias de que durante los interestadiales una escasa ventilación de las aguas profundas contribuyó a aumentar la preservación de la materia orgánica.

El análisis en el dominio espectral del conjunto de variables estudiadas en el testigo MD 95-2043 revela la existencia de cinco periodicidades principales, de 5.000, 3.300, 2.380, 1.470 y 1.200 años, que coinciden con las que explican la variabilidad observada en los testigos de hielo de Groenlandia y en testigos de otras zonas situadas en latitudes bajas. Los ciclos de 3.300 y 1.470 años son los que explican la mayor parte de la variabilidad en el testigo del Mar de Alborán. Sin embargo, la sincronía y el paralelismo entre los registros del Mar de Alborán y de Groenlandia, no son óbice para la aparición de diferencias en la evolución de algunos indicadores durante los periodos interestadiales de los ciclos de Dansgaard/Oeschger. Son estas diferencias las que permiten establecer una división entre los indicadores considerados. Por un lado, los indicadores de aridez e intensidad de viento siguen el mismo patrón de cambio que las temperaturas atmosféricas sobre Groenlandia. Es decir, el salto hacia condiciones de mayor humedad es brusco, mientras que el paso hacia el máximo de aridez es gradual. Por otro lado, las SST y los indicadores de productividad revelan que el calentamiento de las aguas superficiales del Mar de Alborán se produjo de modo gradual hacia el final de los interestadiales. Para determinar si esta señal responde a un mecanismo de transferencia climática distinto o a una respuesta singular de la región mediterránea, es necesario realizar estudios de alta resolución en otros testigos del *Mare Nostrum*.

Los análisis de fase realizados en las proxies que reflejan el aporte eólico de origen sahariano a la cuenca de Alborán muestran que hay un máximo en el aporte de polvo unos años antes que el enfriamiento máximo de altas latitudes. Esta observación sugiere que los trópicos podrían influir en el clima de las altas latitudes a través de mecanismos de retroalimentación como los implicados en el transporte de polvo atmosférico. Ello aporta nuevas pruebas del papel jugado por los trópicos en la generación de cambio climático a escalas milenarias. Es necesario, sin embargo, conocer mejor la influencia de las partículas eólicas en las propiedades radiativas de la atmósfera si se quiere profundizar en el alcance de esta hipótesis.

### Líneas futuras de investigación

Esta Tesis, en la que se ha dado respuesta a algunas cuestiones, deja otras abiertas. Hay líneas de trabajo, tanto genéricas como específicas, que servirían para resolver incógnitas. Son las siguientes:

- 1) Es necesario conocer mejor las condiciones de formación y preservación del bario biogénico, y la influencia de factores como la profundidad para eliminar incertidumbres acerca de su utilidad como indicador de productividad.
- 2) Conviene desarrollar una batería de indicadores de transporte eólico que sean válidos para amplias zonas del globo con el fin de dar mayor solidez a las comparaciones cuantitativas de flujos eólicos entre diferentes áreas. Es asimismo fundamental incorporar los resultados de estos estudios a bases de datos paleoclimáticos para su uso en la construcción de modelos.
- 3) Debe calibrarse con exactitud la influencia de las partículas eólicas en las propiedades radiativas de la atmósfera para poder profundizar en el estudio de las interacciones entre polvo mineral y cambio climático.
- 4) Urge que modelizadores y paleoclimatólogos trabajen conjuntamente en la construcción de modelos a la escala de los ciclos de Dansgaard/Oeschger, con el fin de entender plenamente el funcionamiento del sistema climático durante los periodos estadiales y los interestadiales.
- 5) Hay que hacer un esfuerzo para dilucidar el papel de los trópicos en los cambios climáticos, y especialmente en las teleconexiones entre las latitudes altas y bajas. Para ello es necesario obtener y analizar cuidadosamente testigos marinos de alta resolución en zonas tropicales, tanto del Atlántico como del Pacífico. Por ejemplo, deberían obtenerse testigos con tasas de sedimentación altas al oeste de África en los que estudiar la fracción eólica para conocer con resolución milenaria los cambios climáticos que han afectado el cinturón tropical, en términos de intensidad de los vientos y aridez del Sahel. Entender las relaciones temporales entre los cambios observados en diversas latitudes, y si están en sincronía o no, es esencial para determinar los mecanismos últimos causantes de la variabilidad climática.
- 6) Debe explorarse hasta qué punto la variabilidad climática observada en el testigo MD 95-2043 del Mar de Alborán es representativa de toda la Cuenca Mediterránea. Abogamos por el estudio de testigos de áreas clave de la Cuenca Mediterránea, así como por la extensión del estudio de los aportes eólicos en el testigo del Mar de Alborán al periodo comprendido entre el Último Máximo Glacial y la actualidad con el fin de conocer el comportamiento climático de los sistemas de vientos en la terminación con un detalle muy superior al obtenido en los testigos de la Cuenca del Norte de Canarias.



**V. BIBLIOGRAFÍA**

---





**Bibliografía (Introducción y Discusión de resultados)**

- Agrawal, Y. C., McCave, I. N., y Riley, J. B. (1991). Laser diffraction size analysis. *En* "Principles, methods, and application of particle size analysis." (J. P. M. Syvitski, Ed.), pp. 119-129. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ahrens, C. D. (1993). "Essentials of Meteorology. An invitation to the Atmosphere." West Publishing Company, 437 pp.
- Allen, J. R. M., Brandt, U., Brauer, A., Hubberten, H. W., Huntley, B., Keller, J., Kraml, M., Mackensen, A., Mingram, J., Negendank, J. F. W., Nowaczyk, N. R., Oberhänsli, H., Watts, W. A., Wulf, S., y Zolitschka, B. (1999). Rapid environmental changes in southern Europe during the last glacial period. *Nature* **400**, 740-743.
- Alpert, P., y Ganor, E. (2001). Sahara mineral dust measurements from TOMS: comparison to surface observations over the Middle East for the extreme dust storm, March 14-17, 1998. *Journal of Geophysical Research* **106**, 18275-18286.
- Ambaum, M. H. P., Hoskins, B. J., y Stephenson, D. B. (2001). Artic Oscillation or North Atlantic Oscillation? *Journal of Climate* **14**, 3495-3507.
- An, Z. (2000). The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate. *Quaternary Science Reviews* **19**, 171-187.
- Andersen, K. K., Armengaud, A., y Genthon, C. (1998). Atmospheric dust under glacial and interglacial conditions. *Geophysical Research Letters* **25**, 2281-2284.
- Appenzeller, C., Schwander, J., Sommer, S., y Stocker, T. F. (1998). The North Atlantic Oscillation and its imprints on precipitation and ice accumulation in Greenland. *Geophysical Research Letters* **25**, 1939-1942.
- Arimoto, R. (2001). Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition. *Earth-Science Reviews* **54**, 29-42.
- Arimoto, R., Duce, R. A., Ray, B. J., Ellis, W., Cullen, J. D., y Merrill, J. T. (1995). Trace elements in the atmosphere over the North Atlantic. *Journal of Geophysical Research* **100**, 1199-1213.
- Arnold, E., Merrill, J. T., Leinen, M., y King, J. (1998). The effect of source area and atmospheric transport on mineral aerosol collected over the north Pacific ocean. *Global and Planetary Change* **18**, 137-159.
- Arz, H. W., Pätzold, J., y Wefer, G. (1998). Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits off Brazil. *Quaternary Research* **50**, 57-166.
- Asadov, A., Krofcheck, D., y Gregory, M. (2001). Application of gamma-ray spectrometry to the study of grain size distribution of beach and river sands. *Marine Geology* **179**, 203-211.
- Avila, A., y Alarcón, M. (1999). Relationship between precipitation chemistry and meteorological situations at a rural site in NE Spain. *Atmospheric environment* **33**, 1663-1677.
- Avila, A., Alarcón, M., y Queralt, I. (1998). The chemical composition of dust transported in red rains-its contribution to the biogeochemical cycle of a holm oak forest in Catalonia (Spain). *Atmospheric environment* **32**, 179-191.
- Avila, A., Queralt, I., y Alarcón, M. (1997). Mineralogical composition of African dust delivered

- by red rains over northeastern Spain. *Journal of Geophysical Research* **102**, 21977-21996.
- Avila, A., Queralt, I., Gallart, F., y Martin-Vide, J. (1996). African dust over northeastern Spain: mineralogy and source regions. *En "The impact of desert dust across the Mediterranean."* (S. Guerzoni, y R. Chester, Eds.), pp. 201-205. Kluwer Academic Publishers.
- Avila, A., y Rodà, F. (2002). Assessing decadal changes in rainwater alkalinity at a rural Mediterranean site in the Montseny Mountains (NE Spain). *Atmospheric environment* **36**, 2881-2890.
- Balsam, W. L., Otto-Bliesner, B. L., y Deaton, B. C. (1995). Modern and last glacial maximum eolian sedimentation patterns in the Atlantic Ocean interpreted from sediment iron oxide content. *Paleoceanography* **10**, 493-507.
- Bard, E., Rostek, F., y Sonzogni, C. (1997). Interhemispheric synchrony of the last deglaciation inferred from alkenone palaeothermometry. *Nature* **385**, 707-710.
- Barlow, L. K., Rogers, J. C., Serreze, M. C., y Barry, R. G. (1997). Aspects of climate variability in the North Atlantic sector: Discussion and relation to the Greenland Ice Sheet Project 2 high-resolution isotopic signal. *Journal of Geophysical Research* **102**, 26333-26344.
- Barnola, J. M., Raynaud, D., Korotkevich, Y. S., y Lorius, C. (1987). Vostok ice core provides 160.000-year record of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature* **329**, 408-414.
- Barton, E. D., Arístegui, J., Tett, P., Cantón, M., García-Braun, J., Hernández-León, S., Nykjaer, L., Almeida, C., Almunia, J., Ballesteros, S., Basterretxea, G., Escánez, J., García-Weill, L., Hernández-Guerra, A., López-Laatzén, F., Molina, R., Montero, M. F., Navarro-Pérez, E., Rodríguez, J. M., Van Lenning, K., Vélez, H., y Wild, K. (1998). The transition zone of the Canary Current upwelling region. *Progress in Oceanography* **41**, 455-504.
- Bergametti, G., Gomes, L., Coudé-Gaussen, G., Rognon, P., y Le Coustumer, M. N. (1989a). African dust observed over Canary Islands: source-regions identification and transport pattern for some summer situations. *Journal of Geophysical Research* **94**, 14.855-14.864.
- Bergametti, G., Gomes, L., Remoudaki, E., Desbois, M., Martin, D., y Buat-Menard, P. (1989b). Present transport and deposition patterns of African dusts to the Northwestern Mediterranean. *En "Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport."* (M. Leinen, y M. Sarthein, Eds.), pp. 227-252. Kluwer Academic Publishers.
- Bertrand, P., Shimmield, G. B., Martinez, P., Grousset, F. E., Jorissen, F., Paterne, M., Pujol, C., Bouloubassi, I., Buat-Menard, P., Peyrouquet, J.-P., Beaufort, L., Sicre, M.-A., Lallier-Verges, E., Foster, J. M., y Ternois, Y. (1996). The glacial ocean productivity hypothesis: the importance of regional temporal and spatial studies. *Marine Geology* **130**, 1-9.
- Béthoux, J. P. (1979). Budgets of the Mediterranean Sea. Their dependance on the local climate and on the characteristics of the Atlantic waters. *Oceanologica Acta* **2**, 157-163.
- Beuselinck, L., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G., y Froyen, L. (1998). Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. *Catena* **32**, 193-208.
- Bianchi, G. G., y McCave, I. N. (1999a). Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland. *Nature* **397**, 515-517.
- Bianchi, G. G., Hall, I. R., McCave, I. N., y Joseph, L. H. (1999b). Measurement of the sortable silt current speed proxy using the Sedigraph 5100 and Coulter Multisizer IIe: precision and accuracy. *Sedimentology* **46**, 1001-1014.
- Bigg, G. R., y Wadley, M. R. (2001). Millennial-scale variability in the oceans: an ocean modelling view. *Journal of Quaternary Science* **16**, 3009-319.

- Bigg, G. R., Wadley, M. R., Stevens, D. P., y Johnson, J. (2000). Glacial thermohaline circulation states of the northern Atlantic: the compatibility of modelling and observations. *Journal of the Geological Society, London* **157**, 655-665.
- Biscaye, P., Grousset, F. E., Revel, M., Van der Gaast, S. J., Zielinski, G. A., Vaars, A. J., y Kukla, G. (1997). Asian provenance of glacial dust (stage 2) in the Greenland Ice Sheet Project 2 Ice Core, Summit, Greenland. *Journal of Geophysical Research* **102**, 26.765-26.781.
- Blunier, T., Chappellaz, J., Schwander, J., Dällenbach, A., Stauffer, B., Stocker, T. F., Raynaud, D., Jouzel, J., Clausen, H. B., Hammer, C. U., y Johnsen, S. J. (1998). Asynchrony of Antarctic and Greenland climate change during the last glacial period. *Nature* **394**, 739-743.
- Bond, G., Broecker, W. S., Johnsen, S. J., McManus, J., Labeyrie, L., Jouzel, J., y Bonani, G. (1993). Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature* **365**, 143-147.
- Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W. S., Labeyrie, L., McManus, J., Andrews, J. T., Huon, S., Jantschik, R., Clasen, S., Simet, C., Tedesco, K., Klas, M., Bonani, G., y Ivy, S. (1992). Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic ocean during the last glacial period. *Nature* **360**, 245-249.
- Bond, G., y Lotti, R. (1995). Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time scales during the last deglaciation. *Science* **267**, 1005-1010.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., de Menocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., y Bonani, G. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science* **278**, 1257-1266.
- Bout-Roumazeilles, V., Debrabant, P., Labeyrie, L., Chamley, H., y Cortijo, E. (1997). Latitudinal control of astronomical forcing parameters on the high-resolution clay mineral distribution in 45-60° N range in the North Atlantic Ocean during the past 300.000 years. *Paleoceanography* **12**, 671-686.
- Boyle, E. (1983). Chemical accumulation variations under the Peru current during the past 130.000 years. *Journal of Geophysical Research* **88**, 7667-7680.
- Boyle, E. (2000). Is ocean thermohaline circulation linked to abrupt stadial/interstadial transitions? *Quaternary Science Reviews* **19**, 255-272.
- Bozzano, G., Kuhlmann, H., y Alonso, B. (2002). Storminess control over African dust input to the Moroccan Atlantic margin (NW Africa) at the time of maxima boreal summer insolation: a record of the last 220 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **183**, 155-168.
- Broecker, W. S. (1994). Massive iceberg discharges as triggers for global climate change. *Nature* **372**, 421-424.
- Broecker, W. S., Bond, G., Klas, M., Clark, E., y McManus, J. (1992). Origin of the North Atlantic's Heinrich Events. *Climate Dynamics* **6**, 265-273.
- Broecker, W. S., y Denton, G. H. (1989). The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **53**, 2465-2501.
- Broecker, W. S., y Henderson, G. M. (1998). The sequence of events surrounding Termination II and their implications for the cause of glacial-interglacial CO<sub>2</sub> changes. *Paleoceanography* **13**, 352-364.
- Brooks, N. (2000). "Dust-climate interactions in the Sahel-Sahara zone of northern Africa, with particular reference to late twentieth century Sahelian drought." Tesis Doctoral, University of East Anglia.

- Brovkin, V., Claussen, M., Petoukhov, V., y Ganopolski, A. (1998). On the stability of the atmosphere-vegetation system in the Sahara/Sahel region. *Journal of Geophysical Research* **103**, 31,613-31,624.
- Brummer, G. J. A., y van Eijden, A. J. M. (1992). "Blue ocean" paleoproductivity estimates from pelagic carbonate mass accumulation rates. *Marine micropaleontology* **19**, 99-117.
- Bucher, A. (1989). Fallout of Saharan dust in the Northwestern Mediterranean region. En "Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport." (M. Leinen, y M. Sarnthein, Eds.), pp. 565-584. Kluwer Academic Publishers.
- Buckle, C. (1996). "Weather and climate in Africa." Longman, 312 pp.
- Cacho, I., Grimalt, J. O., Pelejero, C., Canals, M., Sierro, F. J., Flores, J. A., y Shackleton, N. J. (1999a). Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in Alboran Sea temperatures. *Paleoceanography* **14**, 698-705.
- Cacho, I., Pelejero, C., Grimalt, J. O., Calafat, A., y Canals, M. (1999b). C<sub>37</sub> alkenone measurements of sea surface temperature in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Organic Geochemistry* **30**, 557-566.
- Cacho, I., Grimalt, J. O., Sierro, F. J., Shackleton, N. J., y Canals, M. (2000a). Evidence for enhanced Mediterranean thermohaline circulation during rapid climatic coolings. *Earth and Planetary Science Letters* **183**, 417-429.
- Cacho, I. (2000b). "Respuesta del Mediterráneo Occidental a los cambios climáticos rápidos de los últimos 50.000 años. Análisis de biomarcadores moleculares." Tesis Doctoral, University of Barcelona.
- Calvert, S. E., y Pedersen, T. F. (1993). Geochemistry of recent oxic and anoxic marine sediments: implications for the geological record. *Marine Geology* **113**, 67-88.
- Caquineau, S., Gaudichet, A., Gomes, L., Magonthier, M.-C., y Chatenet, B. (1998). Saharan dust: clay ratio as a relevant tracer to assess the origin of soil-derived aerosols. *Geophysical Research Letters* **25**, 983-986.
- Cassou, C., y Terray, L. (2001a). Dual influence of Atlantic and Pacific SST anomalies on the North Atlantic/Europe winter climate. *Geophysical Research Letters* **28**, 3195-3198.
- Cassou, C., y Terray, L. (2001b). Oceanic forcing of the wintertime low-frequency atmospheric variability in the North Atlantic European sector: a study with the ARPEGE model. *Journal of Climate* **14**, 4266-4291.
- Cayre, O., Lancelot, Y., Vincent, E., y Hall, M. A. (1999). Paleoceanographic reconstructions from planktonic foraminifera off the Iberian Margin: temperature, salinity and Heinrich events. *Paleoceanography* **14**, 384-396.
- Chang, P., Ji, L., y Hong, L. (1997). A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions. *Nature* **385**, 516-518.
- Chappellaz, J., Blunier, T., Raynaud, D., Barnola, J. M., Schwander, J., y Stauffer, B. (1993). Synchronous changes in atmospheric CH<sub>4</sub> and Greenland climate between 40 and 8 kyr BP. *Nature* **366**, 443-445.
- Chen, F. H., Bloemendal, J., Wang, L., Li, J. J., y Oldfield, F. (1997). High-resolution multi-proxy climate records from Chinese loess: evidence for rapid climatic changes over the last 75 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **130**, 323-335.
- Chiapello, I., Bergametti, G., y Chatenet, B. (1997). Origins of African dust transported over the

- northeastern tropical Atlantic. *Journal of Geophysical Research* **102**, 13.701-13.709.
- Chiapello, I., Bergametti, G., Gomes, L., Chatenet, B., Dulac, F., Pimenta, J., y Soares, E. S. (1995). An additional low layer transport of Sahelian and Saharan dust over the North-Eastern Tropical Atlantic. *Geophysical Research Letters* **22**, 3191-3194.
- Chylek, P., Lesins, G., y Lohmann, U. (2001). Enhancement of dust source area during past glacial periods due to changes of the Hadley circulation. *Journal of Geophysical Research* **106**, 18477-18485.
- Claquin, T., Schulz, M., y Balkanski, Y. (1999). Modeling the mineralogy of atmospheric dust sources. *Journal of Geophysical Research* **104**, 22243-22256.
- Clark, P. U., Alley, R. B., y Pollard, D. (1999). Northern Hemisphere ice-sheet influences on global climate change. *Science* **286**, 1104-1111.
- Claussen, M., Mysak, L. A., Weaver, A. J., Crucifix, M., Fichet, T., Loutre, M. F., Weber, S. L., Alcamo, J., Alexeev, V. A., Berger, A., Calov, R., Ganopolski, A., Goosse, H., Lohmann, G., Lunkeit, F., Mokhov, I. I., Petoukhov, V., Stone, P., y Wang, Z. (2002). Earth system models of intermediate complexity: closing the gap in the spectrum of climate system models. *Climate Dynamics* **18**, 579-586.
- Clemens, C. (1998). Dust response to seasonal atmospheric forcing: proxy evaluation and calibration. *Paleoceanography* **13**, 471-490.
- Coakley, J. P., y Syvitski, J. P. M. (1991). SediGraph technique. En "Principles, methods, and application of particle size analysis." (J. P. M. Syvitski, Ed.), pp. 129-141. Cambridge University Press, Cambridge.
- COHMAP members (1988). Climatic changes of the last 18.000 years: observations and model simulations. *Science* **241**, 1043-1052.
- Cook, E. R., D'Arrigo, R. D., y Briffa, K. R. (1998). A reconstruction of the North Atlantic Oscillation using tree-ring chronologies from North America and Europe. *The Holocene* **8**, 9-17.
- Correggiari, A., Guerzoni, S., Lenaz, R., Quarantotto, G., y Rampazzo, G. (1989). Dust deposition in the central Mediterranean (Tyrrhenian and Adriatic Seas): relationships with marine sediments and riverine input. *Terra Nova* **1**, 549-558.
- Cortijo, E., Balbon, E., Elliot, M., Labeyrie, L., y Turon, J. L. (1999). Glacial and interglacial hydrological changes in the North Atlantic Ocean. En "Reconstructing Ocean History: A Window into the Future." (F. Abrantes, y A. C. Mix, Eds.), pp. 83-102. Plenum Publishers, New York.
- Cortijo, E., Labeyrie, L., Elliot, M., Balbon, E., y Tisnerat, N. (2000). Rapid climatic variability of the North Atlantic Ocean and global climate: a focus of the IMAGES program. *Quaternary Science Reviews* **19**, 227-241.
- Coudé-Gaussen, G., y Rognon, P. (1993). Contrasting origin and character of Pleistocene and Holocene dust falls on the Canary islands and southern Morocco: genetic and climatic significance. En "The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary systems." (K. Pye, Ed.), pp. 277-291. Special Publication. Geological Society, London.
- Coudé-Gaussen, G., Rognon, P., Bergametti, G., Gomes, L., Strauss, B., Gros, J. M., y Le Coustumer, M. N. (1987). Saharan dust on Fuerteventura Island (Canaries): chemical and mineralogical characteristics, air mass trajectories and probable sources. *Journal of Geophysical Research* **92**, 9753-9771.
- Cullen, H., D'Arrigo, R. D., Cook, E. R., y Mann, M. E. (2001). Multiproxy reconstruction of the

- North Atlantic Oscillation. *Paleoceanography* **16**, 27-39.
- Cullen, H., deMenocal, P., Hemming, S. R., Brown, F. H., Guilderson, T. P., y Sirocko, F. (2000). Climate change and the collapse of the Akkadian empire: evidence from the deep sea. *Geology* **28**, 379-382.
- Curry, R. G., McCartney, M., y Joyce, T. M. (1998). Oceanic transport of subpolar climate signals to mid-depth subtropical waters. *Nature* **391**, 575-577.
- Czaja, A., y Frankignoul, C. (2002). Observed impact of Atlantic SST anomalies on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Climate* **15**, 606-623.
- D'Almeida, G. (1986). A model for Saharan dust transport. *Journal of Climate and Applied Meteorology* **25**, 903-916.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjörnsdóttir, A. E., Jouzel, J., y Bond, G. (1993). Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* **364**, 218-220.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., y Oeschger, H. (1984). North Atlantic climatic oscillations revealed by deep Greenland ice cores. En "Climate Processes and Climate Sensitivity." (J. E. Hansen, y T. Takahashi, Eds.), pp. 288-298. Maurice Ewing. American Geophysical Union, Washington.
- Davenport, R., Neuer, S., Hernández-Guerra, A., Ruedas, M. J., Llinas, O., Fischer, G., y Wefer, G. (1999). Seasonal and interannual pigment concentration in the Canary Islands region from CZCS data and comparison with observations from the ESTOC. *International Journal of Remote Sensing* **20**, 1419-1433.
- de Garidel-Thoron, T., Beaufort, L., Linsley, B. K., y Dannenmann, S. (2001). Millennial-scale dynamics of the East Asian winter monsoon during the last 200,000 years. *Paleoceanography* **16**, 491-502.
- Demaison, G. (1991). Anoxia vs. productivity: what controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks?: discussion. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* **75**, 499.
- deMenocal, P. (1995). Plio-Pleistocene African Climate. *Science* **270**, 53-59.
- deMenocal, P., Ortiz, J., Guilderson, T. P., y Sarnthein, M. (2000). Coherent high- and low-latitude climate variability during the Holocene warm period. *Science* **288**, 2198-2202.
- deMenocal, P., y Rind, D. (1993). Sensitivity of asian and african climate to variations in seasonal insolation, glacial ice cover, sea surface temperature and asian orography. *Journal of Geophysical Research* **98**, 7265-7287.
- Dickson, B. (1997). From the Labrador Sea to global change. *Nature* **386**, 649-650.
- Dierster-Haass, L. (1976). Late Quaternary climatic variations in Northwest Africa deduced from East Atlantic sediment cores. *Quaternary Research* **6**, 299-314.
- Ditlevsen, P. D., Svensmark, H., y Johnsen, S. J. (1996). Contrasting atmospheric and climate dynamics of the last-glacial and Holocene periods. *Nature* **379**, 810-812.
- Dokken, T., y Jansen, E. (1999). Rapid changes in the mechanism of ocean convection during the last glacial period. *Nature* **401**, 458-461.
- Duce, R. A., Liss, P. S., Merrill, J. T., Atlas, E. L., Buat-Menard, P., Hicks, B. B., Miller, J. M., Prospero, J. M., Arimoto, R., Church, T. M., Ellis, W., Galloway, J. N., Hansen, L., Jickells, T.

- D., Knap, A. H., Reinhardt, K. H., Schneider, B., Soudine, A., Tokos, J. J., Tsunogai, S., Wollast, R., y Zhou, L. (1991). The atmospheric input of trace species to the world ocean. *Global Biogeochemical Cycles* **5**, 193-259.
- Dulac, F., Tanre, D., Bergametti, G., Buat-Menard, P., Desbois, M., y Sutton, D. (1992). Assessment of the African airborne dust mass over the western Mediterranean Sea using Meteosat data. *Journal of Geophysical Research* **97**, 2489-2506.
- Dymond, J., Suess, E., y Lyle, M. (1992). Barium in deep-sea sediment: a geochemical proxy for paleoproductivity. *Paleoceanography* **7**, 163-181.
- Eden, C., y Willebrand, J. (2001). Mechanism of interannual to decadal variability of the North Atlantic circulation. *Journal of Climate* **14**, 2266-2280.
- Edwards, R., y Sedwick, P. (2001). Iron in East Antarctic snow: implications for atmospheric iron deposition and algal production in Antarctic waters. *Geophysical Research Letters* **28**, 3907-3910.
- Elliot, M., Labeyrie, L., Bond, G., Cortijo, E., Turon, J. L., Tisnerat, N., y Duplessy, J. C. (1998). Millennial-scale iceberg discharges in the Irminger Basin during the last glacial period: Relationship with the Heinrich events and environmental settings. *Paleoceanography* **13**, 433-446.
- Elliot, M., Labeyrie, L., y Duplessy, J. C. (2002). Changes in North Atlantic deep-water formation associated with the Dansgaard-Oeschger temperature oscillations (10-60 ka). *Quaternary Science Reviews* **21**, 1153-1165.
- Ely, L. L., Enzel, Y., Baker, V. R., y Cayan, D. R. (1993). A 5000-year record of extreme floods and climate change in the southwestern United States. *Nature* **262**, 410-412.
- Fabrés, J., Calafat, A., Sánchez-Vidal, A., Canals, M., y Heussner, S. (2002). Composition and spatio-temporal variability of particle fluxes in the Western Alboran Gyre, Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems* **33-34**, 431-456.
- Falkovich, A. H., Ganor, E., Levin, Z., Formenti, P., y Rudich, Y. (2001). Chemical and mineralogical analysis of individual mineral dust particles. *Journal of Geophysical Research* **106**, 18029-18036.
- Falkowski, P. G., Barber, R. T., y Smetacek, V. (1998). Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science* **281**, 200-206.
- Fisher, D., y Wefer, G. (1999). Use of proxies in paleoceanography. Examples from the South Atlantic, pp. 735. Springer-Verlag.
- Flores, J. A., Bárcena, M. A., y Sierro, F. J. (2000). Ocean surface and wind dynamics in the Atlantic Ocean off Northwest Africa during the last 140,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **161**, 459-478.
- Folk, R. L., y Ward, W. C. (1957). Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* **21**, 3-26.
- Folland, C. K., Palmer, T. N., y Parker, D. E. (1986). Sahel rainfall and worldwide sea temperatures, 1901-85. *Nature* **320**, 602-607.
- Francois, R., Honjo, S., Manganini, S. J., y Ravizza, G. E. (1995). Biogenic barium fluxes to the deep sea: implications for paleoproductivity reconstruction. *Global Biogeochem. Cycles* **9**, 289-303.
- Freudenthal, T. (2000). "Reconstruction of productivity gradients in the Canary Island region off

- Morocco by means of sinking particles and sediments.” Tesis Doctoral, Bremen University.
- Freudenthal, T., Meggers, H., Henderiks, J., Kuhlmann, H., Moreno, A., y Wefer, G. (2002). Upwelling intensity and filament activity off Morocco during the last 250,000 years. *Deep Sea Research II (CANIGO Special Issue)* **in press**.
- Fuhrer, K., Wolff, E. W., y Johnsen, S. J. (1999). Timescales for dust variability in the Greenland Ice Core Project (GRIP) ice core in the last 100,000 years. *Journal of Geophysical Research* **104**, 31,043-31,052.
- Fütterer, D. K. (1983). The modern upwelling record off NW Africa. *En* “Coastal upwelling; its sediment record.” (J. Thiede, y E. Suess, Eds.), pp. 105-121.
- Gallego, D., Garcia, R., Hernandez, E., Gimeno, L., y Ribera, P. (2001). An ENSO signal in the North Atlantic subtropical area. *Geophysical Research Letters* **28**, 2939-2942.
- Ganopolski, A., y Rahmstorf, S. (2001). Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate model. *Nature* **409**, 153-158.
- Ganor, E., y Foner, H. A. (1996). The mineralogical and chemical properties and the behaviour of aeolian Saharan dust over Israel. *En* “The impact of desert dust across the Mediterranean.” (S. Guerzoni, y R. Chester, Eds.), pp. 163-172. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Garcia-Gorritz, E., y Carr, M.-E. (1999). The climatological annual cycle of satellite-derived phytoplankton pigments in the Alboran Sea. *Geophysical Research Letters* **26**, 2985-2988.
- Garcia-Gorritz, E., y Carr, M.-E. (2001). Physical control of phytoplankton distributions in the Alboran Sea: a numerical and satellite approach. *Journal of Geophysical Research* **106**, 16795-16805.
- García-Herrera, R., Gallego, D., y Hernández, E. (2001). Influence of the North Atlantic Oscillation on the Canary Islands precipitation. *Journal of Climate* **14**, 3889-3903.
- Garrison, T. (1996). “Oceanography: an invitation to marine science.” Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, 567 pp.
- Gasse, F., y Van Campo, E. (1994). Abrupt post-glacial climate events in West Asia and North Africa monsoon domains. *Earth and Planetary Science Letters* **126**, 435-456.
- George, S. E., y Saunders, M. A. (2001). North Atlantic Oscillation impact on tropical north Atlantic winter atmospheric variability. *Geophysical Research Letters* **28**, 1015-1018.
- Ghil, M. (2002). Natural Climate Variability. *En* “Encyclopedia of Global Environmental Change.” (T. Munn, Ed.), pp. 544-549. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.
- Ghil, M., Allen, M. R., Dettinger, M. D., Ide, K., Kondrashov, D., Mann, M. E., Robertson, A. W., Saunders, A., Tian, Y., Varadi, F., y Yiou, P. (2002). Advanced Spectral Methods for climatic time series. *Reviews of Geophysics* **in press**.
- Gildor, H., y Tziperman, E. (2001). A sea ice climate switch mechanism for the 100-kyr glacial cycles. *Journal of Geophysical Research* **106**, 9117-9133.
- Gillette, D. (1981). Production of dust that may be carried great distances. *En* “Desert Dust: origin, characteristics and effect of man.” (T. Pèwè, Ed.). Special Paper. Geological Society of America, Boulder.
- Gingele, F., Zabel, M., Kasten, S., Bonn, W. J., y Nürnberg, C. C. (1999). Biogenic barium as a proxy for paleoproductivity: methods and limitations of application. *En* “Use of proxies in paleoceanography: examples from the South Atlantic.” (G. Fischer, y G. Wefer, Eds.), pp. 345-364. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.



- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J. M., Holben, B. N., Dubovik, O., y Lin, S.-J. (2001). Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research* **106**, 20,255-20,273.
- Giraudeau, J., Cremer, M., Manthé, S., Labeyrie, L., y Bond, G. (2000). Coccolith evidence for instabilities in surface circulation south of Iceland during Holocene times. *Earth and Planetary Science Letters* **179**, 257-268.
- Goodess, C. M., Palutikof, J. P., y Davis, T. D. (1992). "The nature and causes of climate change." Belhaven Press, London, 242 pp.
- Goudie, A. S., y Middleton, N. J. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews* **56**, 179-204.
- Grimm, E. C., Jacobson, G. L., Watts, W. A., Hansen, B. C. S., y Maasch, K. A. (1993). A 50,000-year record of climate oscillations from Florida and its temporal correlation with the Heinrich events. *Science* **261**, 198-200.
- Grotes, P., Stuiver, M., White, J. W. C., Johnsen, S. J., y Jouzel, J. (1993). Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature* **366**, 552-554.
- Grousset, F. E., Biscaye, P., Revel, M., Petit, J. R., Pye, K., Joussaume, S., y Jouzel, J. (1992a). Antarctic (Dome C) ice-core dust at 18 k.y. B.P.: isotopic constraints on origins. *Earth and Planetary Science Letters* **11**, 175-182.
- Grousset, F. E., Rognon, P., Coudé-Gaussen, G., y Pédemay, P. (1992b). Origins of peri-Saharan dust deposits traced by their Nd and Sr isotopic composition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **93**, 203-212.
- Grousset, F. E., Parra, M., Bory, A., Martinez, P., Bertrand, P., Shimmield, G. B., y Ellam, R. M. (1998). Saharan wind regimes traced by the Sr-Nd isotopic composition of subtropical Atlantic sediments: last Glacial maximum vs today. *Quaternary Science Reviews* **17**, 395-409.
- Guerzoni, S., Molinaroli, E., y Chester, R. (1997). Saharan dust inputs to the western Mediterranean Sea: depositional patterns, geochemistry and sedimentological implications. *Deep Sea Research II* **44**, 631-654.
- Gwiazda, R. H., Hemming, S. R., y Broecker, W. S. (1996). Tracking the sources of icebergs with lead isotopes: The provenance of ice-rafted debris in Heinrich layer 2. *Paleoceanography* **11**, 77-93.
- Hagen, E., Zülicke, C., y Feistel, R. (1996). Near-surface structures in the Cape Ghir filament off Morocco. *Oceanologica Acta* **19**, 577-597.
- Hamonou, E., Chazette, P., Balis, D., Dulac, F., Schneider, X., Galani, E., Ancellet, G., y Papayannis, A. (1999). Characterization of the vertical structure of Saharan dust export to the Mediterranean basin. *Journal of Geophysical Research* **104**, 22257-22270.
- Harrison, S. P., Kohfeld, K., Roelandt, C., y Claquin, T. (2001). The role of dust in climate changes today, at the last glacial maximum and in the future. *Earth-Science Reviews* **54**, 43-80.
- Heinrich, H. (1988). Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130.000 years. *Quaternary Research* **29**, 142-152.
- Hoerling, M. P., Hurrell, J. W., y Xu, T. (2001). Tropical origins for recent North Atlantic climate change. *Science* **292**, 90-92.
- Hong, S., Candelone, J. P., Turetta, C., y Boutron, F. (1996). Changes in natural lead, copper, zinc and cadmium concentrations in central Greenland ice from 8250 to 149.100 years ago: their

- association with climatic changes and resultant variations of dominant source contributions. *Earth and Planetary Science Letters* **143**, 233-244.
- Hooghiemstra, H. (1988). Late Quaternary changes in vegetation and climate in NW Africa: pollen evidence from marine sediments (time-slices and time-series). *Palaeoecology of Africa* **19**, 243-248.
- Hooghiemstra, H. (1989). Variations of the NW African trade wind regime during the last 140.000 years: changes in pollen flux evidenced by marine sediment records. En "Paleoclimatology and paleometeorology: modern and past patterns of global atmospheric transport." (M. Leinen, y M. Sarnthein, Eds.), pp. 733-770. NATO ASI Series. Kluwer, Dordrecht.
- Hopkins. (1989). La física del mar. En "El Mediterráneo Occidental" (R. Margalef, Ed.). Omega, Barcelona, 102-127.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguera, M., van der Linden, P. J., y Xiaosu, D. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis, pp. 944. Cambridge University Press.
- Huang, J., Higuchi, K., y Shabbar, A. (1998). The relationship between the North Atlantic Oscillation and El Niño-Southern Oscillation. *Geophysical Research Letters* **25**, 27-7-2710.
- Hughen, K. A., Overpeck, J. T., Peterson, L. C., y Trumbore, S. (1996). Rapid climate changes in the tropical Atlantic region during the last deglaciation. *Nature* **380**, 51-54.
- Hüls, M., y Zahn, R. (2000). Millennial-scale sea surface temperature variability in the western tropical North Atlantic from planktonic foraminiferal census counts. *Paleoceanography* **15**, 659-678.
- Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science* **269**, 676-679.
- Hurrell, J. W. (1996). Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. *Geophysical Research Letters* **23**, 665-668.
- Husar, R. B., Tratt, D. M., Schichtel, B. A., Falke, S. R., Li, F., Jaffe, D., Gassó, S., Gill, T., Laulainen, N. S., Lu, F., Reheis, M. C., Chun, Y., Westphal, D., Holben, B. N., Gueymard, C., McKendry, I., Kuring, N., Feldman, G. C., McClain, C., Frouin, R. J., Merrill, J., DuBois, D., Vignola, F., Murayama, T., Nickovic, S., Wilson, W. E., Sassen, K., Sugimoto, N., y Malm, W. C. (2001). Asian dust events of April 1998. *Journal of Geophysical Research* **106**, 18317-18330.
- Idso, S. (1981). Climatic change: the role of atmospheric dust. En "Desert Dust: origin, characteristics and effect of man." (T. Pèwè, Ed.). Special Paper. Geological Society of America, Boulder.
- Imbrie, J., Berger, A., y Shackleton, N. J. (1993). Role of orbital forcing: A two-million-year perspective. En "Global Change in the perspective of the past." (J. A. Eddy, y H. Oeschger, Eds.), pp. 263-277. John Wiley & Sons Ltd.
- Imbrie, J., Boyle, E., Clemens, C., Duffy, A., Howard, W., Kukla, G., Kutzbach, J. E., Martinson, D. G., McIntyre, A., Mix, A. C., Molino, B., Morley, J. J., Peterson, L. C., Pisias, N. G., Prell, W., Raymo, M. E., Shackleton, N. J., y Toggweiler, J. R. (1992). On the structure and origin of major glacial cycles. 1.- Linear responses to Milankovitch forcing. *Paleoceanography* **7**, 701-738.
- Imbrie, J., Hays, J. D., Martinson, D. G., McIntyre, A., Mix, A. C., Morley, J. J., Pisias, N. G., Prell, W. L., y Shackleton, N. J. (1984). The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine  $\delta^{18}\text{O}$  record. En "Milankovitch and Climate." (A. Berger, Ed.),

pp. 269-305. Processing of the NATO Advanced Research Workshop on Milankovitch and Climate. D. Reidel publishing Company, Palisades, New York.

Iriondo, M. (2000). Patagonian dust in Antarctica. *Quaternary International* **68-71**, 83-86.

Issar, A., Tsoar, H., y Levin, D. (1989). Climatic changes in Israel during historical times and their impact on hydrological, pedological and socio-economic systems. En "Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport." (M. Leinen, y M. Sarnthein, Eds.). Kluwer Academic Publishers.

Jaenicke, R., y Schütz, L. (1978). Comprehensive study of physical and chemical properties of the surface aerosols in the Cape Verde Islands region. *Journal of Geophysical Research* **83**, 3585-3599.

Janicot, S. (2000). Regional impacts from El Niño on West Africa. *Medias Newsletter* **12**, 34-37.

Jansen, J. H. F., Van der Gaast, S. J., Koster, B., y Vaars, A. J. (1998). CORTEX, a shipboard XRF-scanner for element analyses in split sediment cores. *Marine Geology* **151**, 143-153.

Johnson, J., y Stevens, I. (2000). A fine resolution model of the eastern North Atlantic between the Azores, the Canary Islands and the Gibraltar Strait. *Deep Sea Research* **47**, 875-899.

Jones, P. D., Briffa, K. R., Barnett, T. P., y Tett, S. F. B. (1998). High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control-run temperatures. *Holocene* **8**, 455-471.

Joussaume, S. (1993). Paleoclimatic tracers: an investigation using an atmospheric general circulation model under Ice Age conditions. 1. Desert dust. *Journal of Geophysical Research* **98**, 2767-2805.

Kakade, S. B., y Dugam, S. S. (2000). The simultaneous effect of NAO and SO on the monsoon activity over India. *Geophysical Research Letters* **27**, 3501-3504.

Kasten, S., Haese, R., Zabel, M., Rühlemann, C., y Schulz, H. (2001). Barium peaks at glacial terminations in sediments of the equatorial Atlantic Ocean - relicts of deglacial productivity pulses? *Chemical Geology* **175**, 635-651.

Kawahata, H., Okamoto, T., Matsumoto, E., y Ujiie, H. (2000). Fluctuations of eolian flux and ocean productivity in the mid-latitude North Pacific during the last 200 kyr. *Quaternary Science Reviews* **19**, 1279-1291.

Kerr, R. A. (1997). A new driver for the Atlantic's moods and Europe's weather? *Science* **275**, 754-755.

Kerr, R. A. (2001). The tropics return to the climate system. *Science* **292**, 660-661.

Kiefert, L., McTainsh, G. H., y Nickling, W. G. (1996). Sedimentological characteristics of Saharan and Australian dusts. En "The impact of desert Dust across the Mediterranean." (S. Guerzoni, y R. Chester, Eds.), pp. 183-190. Kluwer Academic Publishers.

Kim, G., y Church, T. M. (2001). Seasonal biogeochemical fluxes of <sup>234</sup>Th and <sup>210</sup>Po in the upper Sargasso Sea: influence from atmospheric iron deposition. *Global Biogeochemical Cycles* **15**, 651-661.

Kinder, T. H., y Parrilla, G. (1987). Yes, some of the Mediterranean outflow does come from great depths. *Journal of Geophysical Research* **92**, 2901-2906.

Knorr, W., Schnitzler, K.-G., y Govaerts, Y. (2001). The role of bright desert regions in shaping North African climate. *Geophysical Research Letters* **28**, 3489-3492.

- Kohfeld, K., y Harrison, S. P. (2000). How well can we simulate past climates? Evaluating the models using global palaeoenvironmental datasets. *Quaternary Science Reviews* **19**, 321-346.
- Kohfeld, K., y Harrison, S. P. (2001). DIRTMAP: The geological record of dust. *Earth-Science Reviews* **54**, 81-114.
- Kolla, V., Biscaye, P., y Hanley, A. F. (1979). Distribution of quartz in late Quaternary Atlantic sediments in relation to climate. *Quaternary Research* **11**, 261-277.
- Konert, M., y Vandenberghe, J. (1997). Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction. *Sedimentology* **44**, 523-535.
- Korres, G., Pinardi, N., y Lascaratos, A. (2000). The ocean response to low-frequency interannual atmospheric variability in the Mediterranean Sea. Part I: sensitivity experiments and energy analysis. *Journal of Climate* **in press**.
- Krom, M. D., Cliff, R. A., Eijssink, L. M., Herut, B., y Chester, R. (1999). The characterisation of Saharan dusts and Nile particulate matter in surface sediments from the Levantine basin using Sr isotopes. *Marine Geology* **155**, 319-330.
- Kudrass, H. R., Hofmann, A. W., Doose, H., Emeis, K. C., y Erlenkeuser, H. (2001). Modulation and amplification of climatic changes in the Northern Hemisphere by the Indian summer monsoon during the past 80 ky. *Geology* **29**, 63-66.
- Kuhlmann, H., Westerhold, T., Moreno, A., Röhl, U., Zabel, M., y Wefer, G. (2002). Applications of a XRF-Core Scanner in paleoceanography: accuracy, chances and prospects limitations, **in preparation**.
- Kutzbach, J. E. (1976). The nature of climate and climatic variations. *Quaternary Research* **6**, 471-480.
- Labeyrie, L. (2000). Glacial climate instability. *Science* **290**, 1905-1907.
- Lamb, H., Gasse, F., Benkaddour, A., El Hamouti, N., Van der Kaars, S., Perkins, W. T., Pearce, N. J., y Roberts, C. N. (1995). Relation between century-scale Holocene arid intervals in tropical and temperate zones. *Nature* **373**, 134-137.
- Lamy, F., Hebbeln, D., Röhl, U., y Wefer, G. (2001). Holocene rainfall variability in southern Chile: a marine record of latitudinal shifts of the Southern Westerlies. *Earth and Planetary Science Letters* **185**, 369-382.
- Lamy, F., Hebbeln, D., y Wefer, G. (1998). Late Quaternary precessional cycles of terrigenous sediment input off the Norte Chico, Chile (27.5S) and palaeoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **141**, 233-251.
- Lange, H. (1982). Distribution of chlorite and kaolinite in eastern Atlantic sediments off North Africa. **29**, 427-431.
- Lebreiro, S. M., Moreno, J. C., McCave, I. N., y Weaver, P. P. E. (1996). Evidence for Heinrich layers off Portugal (Tore Seamount: 39°N, 12°W). *Marine Geology* **131**, 47-56.
- Lemon, R. R. (1990). "Principles of stratigraphy." Merrill Publishing Company, Columbus, 559 pp.
- Leuschner, D. C., y Sirocko, F. (2000). The low-latitude monsoon climate during Dansgaard-Oeschger cycles and Heinrich Events. *Quaternary Science Reviews* **19**, 243-254.
- Lézine, A. M., y Denèfle, M. (1997). Enhanced anticyclonic circulation in the eastern North Atlantic during cold intervals of the last deglaciation inferred from deep-sea pollen records. *Geology* **25**, 119-122.

- Loring, D. H., y Rantala, R. T. T. (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Science Reviews* **32**, 235-283.
- Lowell, T. V., Heusser, C. J., Andersen, B. G., Moreno, P. I., Hauser, A., Heusser, L. E., Schlüchter, C., Marchant, D. R., y Denton, G. H. (1995). Interhemispheric correlation of Late Pleistocene glacial events. *Science* **269**, 1541-1549.
- Loÿe-Pilot, M. D., Martin, J. M., y Morelli, J. (1986). Influence of Saharan dust on the rain acidity and atmospheric input to the Mediterranean. *Nature* **321**, 427-428.
- Lu, H., y Sun, D. (2000). Pathways of dust input to the Chinese Loess Plateau during the last glacial and interglacial periods. *Catena* **40**, 251-261.
- Ma, C.-J., Kasahara, M., Höller, R., y Kamiya, T. (2001). Characteristics of single particles sampled in Japan during the Asian dust-storm period. *Atmospheric environment* **35**, 2707-2714.
- MacAyeal, D. R. (1993). Binge/purge oscillations of the Laurentide ice sheet as a cause of the North Atlantic's Heinrich events. *Paleoceanography* **8**, 775-784.
- Mahowald, N., Kohfeld, K., Hansson, M., Balkanski, Y., Harrison, S. P., Prentice, I. C., Schulz, M., y Rodhe, H. (1999). Dust sources and deposition during the last glacial maximum and current climate: a comparison of model results with paleodata from ice cores and marine sediments. *Journal of Geophysical Research* **104**, 15,895-15,916.
- Marticorena, B., y Bergametti, G. (1996). Two-year simulations of seasonal and interannual changes of the Saharan dust emissions. *Geophysical Research Letters* **23**, 1921-1924.
- Martin, J. H., Coale, K. H., Johnson, K. S., Fitzwater, S. E., Gordon, R. M., Tanner, S. J., Hunter, C. N., Elrod, V. A., Nowicki, J. L., Coley, T. L., Barber, R. T., Lindley, S., Watson, A. J., Van Scoy, K., Law, C. S., Liddicoat, M. I., Ling, R., Stanton, T., Stockel, J., Collins, C., Anderson, A., Bidigare, R., Ondrusek, M., Latasa, M., Millero, F. J., Lee, K., Yao, W., Zhang, J. Z., Friedrich, G., Sakamoto, C., Chavez, F., Buck, K., Kolber, Z., Greene, R., Falkowski, P. G., Chisholm, S. W., Hoge, F., Swift, R., Yungel, J., Turner, S., Nightingale, P., Hatton, A., Liss, P. S., y Tindale, N. W. (1994). Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean. *Nature* **371**, 123-129.
- Martin, J. H., Knauer, G. A., Karl, D. M., y Broenkow, W. W. (1987). VERTEX: carbon cycling in the northeast Pacific. *Deep Sea Research* **34**, 267-285.
- Martinez, P. (1997). "Paléoproductivités du système d'upwellings nord-ouest africain et variations climatiques au cours du Quaternaire terminal." Tesis Doctoral, Université Bordeaux I.
- Martinez, P., Bertrand, P., Shimmield, G. B., Cochrane, K., Jorissen, F., Foster, J. M., y Dignan, M. (1999). Upwelling intensity and ocean productivity changes off Cape Blanc (northwest Africa) during the last 70.000 years: geochemical and micropalaeontological evidence. *Marine Geology* **158**, 57-74.
- Martinson, D. G., Pisias, N. G., Hays, J. D., Imbrie, J., Moore, T. C., y Shackleton, N. J. (1987). Age dating and the orbital theory of the Ice Ages: development of a high-resolution 0 to 300.000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research* **27**, 1-29.
- Martin-Vide, J., y Llasat, M. C. (1991). Las lluvias de barro: análisis estadístico de una serie de 43 años en Barcelona. *Geographicalia* **28**, 161-173.
- Maslin, M. A., Li, X. S., Loutre, M.-F., y Berger, A. (1998). The contribution of orbital forcing to the progressive intensification of northern hemisphere glaciation. *Quaternary Science Reviews* **17**, 411-426.
- Matthewson, A. P., Shimmield, G. B., Kroon, D., y Fallick, A. E. (1995). A 300 kyr high-

- resolution aridity record of the North African continent. *Paleoceanography* **10**, 677-692.
- Mayewski, P. A., Meeker, L. D., Twickler, M. S., Whitlow, S., Yang, Q., Lyons, W. B., y Prentice, M. (1997). Major features and forcing of high-latitude northern hemisphere atmospheric circulation using a 110,000-year-long glaciochemical series. *Journal of Geophysical Research* **102**, 26,345-26,366.
- Mayewski, P. A., Meeker, L. D., Whitlow, S., Twickler, M. S., Morrison, M. C., Bloomfield, P., Bond, G., Alley, R. B., Gow, A. J., Grootes, P., Meese, D. A., Ram, M., Taylor, K. C., y Wumkes, W. (1994). Changes in atmospheric circulation and ocean ice cover over the North Atlantic during the last 41.000 years. *Science* **263**, 1747-1751.
- McCartney, M. (1997). Is the ocean at the helm? *Nature* **388**, 521-522.
- McCave, I. N., Bryant, R. J., Cook, H. F., y Coughanowr, C. A. (1986). Evaluation of a laser-diffraction-size analyzer for use with natural sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 561-564.
- McCave, I. N., Manighetti, B., y Beveridge, N. A. S. (1995a). Circulation in the glacial North Atlantic inferred from grain-size measurements. *Nature* **374**, 149-151.
- McCave, I. N., Manighetti, B., y Robinson, S. G. (1995b). Sortable silt and fine sediment size/composition slicing: parameters for palaeocurrent speed and palaeoceanography. *Paleoceanography* **10**, 593-610.
- McCave, I. N., y Syvitski, J. P. M. (1991). Principles and methods of geological particle size analysis. En "Principles, methods, and application of particle size analysis." (J. P. M. Syvitski, Ed.), pp. 3-21. Cambridge University Press, Cambridge.
- McIntyre, A., y Molino, B. (1996). Forcing of Atlantic Equatorial and subpolar millennial cycles by precession. *Science* **274**, 1867-1870.
- McIntyre, A., Ruddiman, W., Karlin, K., y Mix, A. C. (1989). Surface water response of the equatorial Atlantic ocean to orbital forcing. *Paleoceanography* **4**, 19-55.
- McManus, J. (1988). Grain size determination and interpretation. En "Techniques in sedimentology." (M. E. Tucker, Ed.), pp. 63-85. Blackwell, Oxford.
- Middleton, N. J., Betzer, P., y Bull, P. A. (2001). Long-range transport of "giant" aeolian quartz grains: linkage with discrete sedimentary sources and implications for protective particle transfer. *Marine Geology* **177**, 411-417.
- Millot, C. (1999). Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems* **20**, 423-442.
- Mitchell, J. M. (1976). An overview of climatic variability and its causal mechanism. *Quaternary Research* **6**, 481-493.
- Mittelstaedt, E. (1983). The upwelling area off northwest Africa - a description of phenomena related to coastal upwelling. *Progress in Oceanography* **12**, 307-331.
- Mo, K. C., y Häkkinen, S. (2001a). Decadal variations in the tropical South Atlantic and linkages to the Pacific. *Geophysical Research Letters* **28**, 2065-2068.
- Mo, K. C., y Häkkinen, S. (2001b). Interannual variability in the tropical Atlantic and linkages to the Pacific. *Journal of Climate* **14**, 2740-2762.
- Molinaroli, E. (1996). Mineralogical characterisation of saharan dust with a view to its final destination in Mediterranean sediments. En "The impact of desert dust across the Mediterranean." (S. Guerzoni, y R. Chester, Eds.), pp. 153-162. Kluwer Academic Publishers.

- Molinaroli, E., De Falco, G., Rabitti, S., y Portaro, R. A. (2000). Stream-scanning laser system, electric sensing counter and settling grain size analysis: a comparison using reference materials and marine sediments. *Sedimentary Geology* **130**, 269-281.
- Moreno, A., Targarona, J., Henderiks, J., Canals, M., Freudenthal, T., y Meggers, H. (2001). Orbital forcing of dust supply to the North Canary Basin over the last 250 kyrs. *Quaternary Science Reviews* **20**, 1327-1339.
- Moreno, A., Nave, S., Kuhlmann, H., Canals, M., Targarona, J., Freudenthal, T., y Abrantes, F. (2002a). Productivity response in the North Canary Basin to climate changes during the last 250,000 years: a multi-proxy approach. *Earth and Planetary Science Letters* **196**, 147-159.
- Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Prins, M. A., Sánchez-Goñi, M. F., Grimalt, J. O., y Weltje, G. J. (2002b). Saharan dust transport and high latitude glacial climatic variability: the Alboran Sea record. *Quaternary Research* **in press**.
- Moulin, C., Guillard, F., Dulac, F., y Lambert, C. E. (1997a). Long-term daily monitoring of Saharan dust load over ocean using Meteosat ISCCP-B2 data. *Journal of Geophysical Research* **102**, 16947-16.958.
- Moulin, C., Lambert, C. E., Dulac, F., y Dayan, U. (1997b). Control of atmospheric export of dust from North Africa by the North Atlantic Oscillation. *Nature* **387**, 691-694.
- Moulin, C., Lambert, C. E., Dayan, U., Masson, V., Ramonet, M., Bousquet, P., Legrand, M., Balkanski, Y., Guelle, W., Marticorena, B., Bergametti, G., y Dulac, F. (1998). Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere. *Journal of Geophysical Research* **103**, 13137-13144.
- Neuer, S., Ratmeyer, V., Davenport, R., Fischer, G., y Wefer, G. (1997). Deep water particle flux in the Canary Island region: a seasonal trends in relation to long-term satellite derived pigment data and lateral sources. *Deep Sea Research I* **44**, 1451-1466.
- Nickling, W. G. (1983). Grain-size characteristics of sediment transported during dust storms. *Journal of Sedimentary Petrology* **53**, 1011-1024.
- Nykjaer, L., y Van Camp, L. (1994). Seasonal and interannual variability of coastal upwelling along northwest Africa and Portugal from 1981 to 1991. *Journal of Geophysical Research* **99**, 14.197-14.207.
- Oppo, D. W., y Lehman, S. J. (1995). Suborbital timescale variability of North Atlantic Deep Water during the past 200,000 years. *Paleoceanography* **10**, 901-910.
- Ortiz, J. D., y Rack, F. R. (1999). Non-invasive sediment monitoring methods: Current and future tools for high-resolution climate studies. En "Reconstructing Ocean History: A Window into the Future." (F. Abrantes, y A. C. Mix, Eds.), pp. 343-380. Plenum Publishers, New York.
- Overpeck, J. T. (1995). Paleoclimatology and climate system dynamics. *Reviews of Geophysics* **33** supplement, 863-871.
- Overpeck, J. T., Peterson, L. C., Kipp, N., Imbrie, J., y Rind, D. (1989). Climate change in the circum-north Atlantic region during the last deglaciation. *Nature* **338**, 553-557.
- Overpeck, J. T., Rind, D., Laci, A., y Healy, R. (1996). Possible role of dust-induced regional warming in abrupt climate change during the last glacial period. *Nature* **384**, 447-449.
- Özsoy, E., Kubilay, N., Nickovic, S., y Moulin, C. (2001). A hemispheric dust storm affecting the Atlantic and Mediterranean in April 1994: analyses, modeling, ground-based measurements and satellite observations. *Journal of Geophysical Research* **106**, 18439-18460.

- Paillard, D., Labeyrie, L., y Yiou, P. (1996). Macintosh program performs time-series analysis. *Eos Transactions* **77**, 379.
- Pan, Z., Arritt, R. W., Gutowski, W. J., y Takle, E. S. (2001). Soil moisture in a regional climate model: simulation and projection. *Geophysical Research Letters* **28**, 2947-2950.
- Parkin, D. W. (1974). Trade winds during the glacial cycles. *Proceedings of the Royal Society of London* **A337**, 73-100.
- Parkin, D. W., y Shackleton, N. J. (1973). Trade wind and temperature correlations down a deep-sea core off the Saharan coast. *Nature* **245**, 455-457.
- Parrilla, G. (1999). Book of abstracts. CANIGO Conference Las Palmas de Gran Canaria, September 1999, pp. 112.
- Parrilla, G., Siedler, G., Niel, X., Wefer, G., Ambar, I., and participants. (1999). CANIGO (MAS3-CT96-0060) Final Scientific Report, pp. 334. Instituto Español de Oceanografía/EU Mast Office.
- Peterson, L. C., Haug, G. H., Hughen, K. A., y Röhl, U. (2000). Rapid changes in the hydrologic cycle of the tropical Atlantic during the Last Glacial. *Science* **290**, 1947-1951.
- Pisias, N. G., Martinson, D. G., Moore, T. C., Shackleton, N. J., Prell, W., Hays, J. D., y Boden, G. (1984). High resolution stratigraphic correlation of benthic oxygen isotopic records spanning the last 300.000 years. *Marine Geology* **56**, 119-136.
- Pistek, P., Strobel, F., y Montanari, C. (1985). Deep-sea circulation in the Alboran Sea. *Journal of Geophysical Research* **90**, 49-69.
- Plaza, A. M. (2001). "Estudio paleoceanográfico de los testigos TG-7 (dorsal de Nazca-Pacífico) y MD95-2043 (mar de Alborán-Mediterráneo)." Tesis Doctoral, CMIMA, CSIC.
- Pokras, E. M., y Mix, A. (1985). Eolian evidence for spatial variability of Late Quaternary climates in Tropical Africa. *Quaternary Research* **24**, 137-149.
- Porter, S. C., y Zhisheng, A. (1995). Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation. *Nature* **375**, 305-308.
- Prins, M. (1999a). "Pelagic, hemipelagic and turbidite deposition in the Arabian Sea during the late Quaternary." Tesis Doctoral, Utrecht University.
- Prins, M., y Weltje, G. J. (1999b). End-member modeling of siliciclastic grain-size distributions: the late Quaternary record of eolian and fluvial sediment supply to the Arabian Sea and its paleoclimatic significance. En "Numerical experiments in stratigraphy: recent advances in stratigraphic and sedimentologic computer simulations.", pp. 91-111. SEPM Special Publications.
- Proctor, C. J., Baker, A., Barnes, W. L., y Gilmour, M. A. (2000). A thousand year speleothem proxy record of North Atlantic climate from Scotland. *Climate Dynamics* **16**, 815-820.
- Prospero, J. M. (1996). Saharan dust transport over the North Atlantic ocean and Mediterranean: an overview. En "The impact of desert dust across the Mediterranean." (S. Guerzoni, y R. Chester, Eds.), pp. 133-151. Kluwer Academic Publisher.
- Pye, K. (1987). "Aeolian dust and dust deposits." Academic Press, London, 330 pp.
- Pye, K. (1989). Processes of fine particle formation, dust source regions, and climatic changes. En "Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport." (M. Leinen, y M. Sarnthein, Eds.), pp. 3-30. Kluwer Academic Publishers.
- Raymo, M. E. (1998). Glacial puzzles. *Science* **281**, 1467-1468.



- Rea, D. (1994). The paleoclimatic record provided by eolian deposition in the deep sea: the geologic history of wind. *Reviews of Geophysics* **32**, 159-195.
- Rea, D. K. (1993). Terrigenous sediments in the pelagic realm. *Oceanus*, winter 1993/1994, 103-106.
- Reader, M. C., Fung, I., y McFarlane, N. (1999). The mineral dust aerosol cycle during the Last Glacial Maximum. *Journal of Geophysical Research* **104**, 9381-9398.
- Reichart, G., den Dulk, M., Visser, H. J., van der Weijden, C. H., y Zachariasse, W. J. (1997). A 225 kyr record of dust supply, paleoproductivity and the oxygen minimum zone from the Murray Ridge (northern Arabian Sea). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **134**, 149-169.
- Reichart, G. J., Lourens, L. J., y Zachariasse, W. J. (1998). Temporal variability in the northern Arabian Sea Oxygen Minimum Zone (OMZ) during the last 225.000 years. *Paleoceanography* **13**, 607-621.
- Riddle, C. (1993). Analysis of geological materials, pp. 463. Marcel Dekker, New York.
- Rimbu, N., Lohmann, G., Felis, T., y Pätzold, J. (2001). Artic Oscillation signature in a Red Sea coral. *Geophysical Research Letters* **28**, 2959-2962.
- Rind, D., Chandler, M., Lerner, J., Martinson, D. G., y Yuan, X. (2001). Climate response to basin-specific changes in latitudinal temperature gradients and implications for sea ice variability. *Journal of Geophysical Research* **106**, 20161-20173.
- Rivera, A. (2000). "El cambio climático: el calentamiento de la Tierra." Editorial Debate, Madrid. 270 pp.
- Robertson, A., Overpeck, J. T., Rind, D., Mosley-Thompson, E., Zielinski, G. A., Lean, J., Koch, D., Penner, J. E., Tegen, I., y Healy, R. (2001). Hypothesized climate forcing time series for the last 500 years. *Journal of Geophysical Research* **106**, 14783-14803.
- Rodó, X., Baert, E., y Comin, F. A. (1997). Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *Climate Dynamics* **13**, 275-284.
- Rodrigo, F. S., Pozo-Vázquez, D., Esteban-Parra, M. J., y Castro-Díez, Y. (2001). A reconstruction of the winter North Atlantic Oscillation index back to A. D: 1501 using documentary data in southern Spain. *Journal of Geophysical Research* **106**, 14805-14818.
- Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., y Kakaliagou, O. (2001). Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment* **35**, 2433-2447.
- Rodwell, M. J., Rowell, D. P., y Folland, C. K. (1999). Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature* **398**, 320-323.
- Röhl, U., y Abrams, L. J. (2000). High-resolution, downhole, and nondestructive core measurements from sites 999 and 1001 in the Caribbean Sea: application to the Late Paleocene Thermal Maximum. En "Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results." (R. M. Leckie, H. Sigurdsson, G. D. Acton, y G. Draper, Eds.), pp. 191-203.
- Rollinson, H. (1993). "Using geochemical data. Evaluation, presentation, interpretation." Ed. Longman Scientific and Technical, 352 pp.
- Ruddiman, W. (1997). Tropical Atlantic terrigenous fluxes since 25.000 yrs B.P. *Marine Geology* **136**, 189-207.

- Rühlemann, C., Müller, P., y Schneider, R. (1999). Organic carbon and carbonate as paleoproductivity proxies: examples from high and low productivity areas of the tropical Atlantic. *En* "Use of proxies in Paleoceanography: examples from the South Atlantic." (G. Fischer, y G. Wefer, Eds.), pp. 1-31. Springer-Verlag, Berlin.
- Sánchez-Goñi, M. F., Cacho, I., Turon, J. L., Guiot, J., Sierro, F. J., Peypouquet, J.-P., Grimalt, J. O., y Shackleton, N. J. (2002). Synchronicity between marine and terrestrial responses to millennial scale climatic variability during the last glacial period in the Mediterranean region. *Climate Dynamics* **19**, 95-105.
- Sarhan, T., García-Lafuente, J., Vargas, J. M., y Plaza, F. (2000). Upwelling mechanisms in the northwestern Alboran Sea. *Journal of Marine Systems* **23**, 317-331.
- Sarnthein, M. (1978). Sand deserts during glacial maximum and climatic optimum. *Nature* **272**, 43-46.
- Sarnthein, M., Kennet, J. P., Allen, J. R. M., Beer, J., Grootes, P., Laj, C., McManus, J., Ramesh, R., y 117, S.-I. w. g. (2002). Decadal-to-millennial-scale climate variability-chronology and mechanisms: summary and recommendations. *Quaternary Science Reviews* **21**, 1121-1128.
- Sarnthein, M., Tetzlaff, G., Koopmann, B., Wolter, K., y Pflaumann, U. (1981). Glacial and interglacial wind regimes over the eastern subtropical Atlantic and North-West Africa. *Nature* **293**, 193-196.
- Sarnthein, M., Thiede, J., Pflaumann, U., Erlenkeuser, H., Fütterer, D., Koopmann, B., Lange, H., y Seibold, E. (1982a). Atmospheric and oceanic circulation patterns off Northwest Africa during the past 25 million years. *En* "Geology of the Northwest Africa continental margin." (U. Rad, I. Hinz, M. Sarnthein, y E. Scibold, Eds.), pp. 547-604. Springer-Verlag, New York.
- Schiller, A., Mikolajewicz, U., y Voss, R. (1997). The stability of the North Atlantic thermohaline circulation in a coupled ocean-atmosphere general circulation model. *Climate Dynamics* **13**, 325-347.
- Schneider, R., Price, B., Müller, P., Kroon, D., y Alexander, I. (1997). Monsoon related variations in Zaire (Congo) sediment load and influence of fluvial silicate supply on marine productivity in the east equatorial Atlantic during the last 200.000 years. *Paleoceanography* **12**, 463-481.
- Schulz, H., von Rad, U., y Erlenkeuser, H. (1998). Correlation between Arabian Sea and Greenland climate oscillations of the past 110,000 years. *Nature* **393**, 54-57.
- Schulz, M. (2002a). On the 1470-year pacing of Dansgaard-Oeschger warm events. *Paleoceanography* **in press**.
- Schulz, M. (2002b). The tempo of climate change during Dansgaard-Oeschger interstadials and its potential to affect the manifestation of the 1470-year cycle. *Geophysical Research Letters* **29**, 1-4.
- Schulz, M., y Mudelsee, M. (2002c). REDFIT: estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. *Computers & Geosciences* **28**, 421-426.
- Schulz, M., y Statterger, K. (1997). Spectrum: spectral analysis of unevenly spaced paleoclimatic time series. *Computers & Geosciences* **23**, 929-945.
- Schütz, L., y Jaenicke, R. (1980). Eolian dust from the Sahara desert. *Palaeoecology of Africa* **12**, 97-98.
- Seidov, D., y Maslin, M. (1999). North Atlantic deep water circulation collapse during Heinrich events. *Geology* **27**, 23-26.

- Seidov, D., y Maslin, M. (2001). Atlantic Ocean heat piracy and the bipolar climate see-saw during Heinrich and Dansgaard-Oeschger events. *Journal of Quaternary Science* **16**, 321-328.
- Servain, J., Wainer, I., Ayina, H. L., y Roquet, H. (2000). The relationship between the simulated climatic variability modes of the Tropical Atlantic. *International Journal of Climatology* **20**, 939-953.
- Shackleton, N. J. (2000). The 100,000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity. *Science* **289**, 1897-1902.
- Shao, Y. (2001). A model for mineral dust emission. *Journal of Geophysical Research* **106**, 20239-20254.
- Shimmield, G. B., y Mowbray, R. (1991). The inorganic geochemical record of the northwest Arabian Sea: a history of productivity variation over the last 400 kyr from sites 722 and 724. En "Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results." (W. Prell, and N. Niitsuma, Eds.), pp. 409-420.
- Singer, J. K., Anderson, J. B., Ledbetter, M. T., McCave, I. N., Jones, K. P. N., y Wright, R. (1988). An assessment of analytical techniques for the size analysis of fine-grained sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* **58**, 534-543.
- Sirocko, F., Garbe-Schönberg, D., McIntyre, A., y Molino, B. (1996). Teleconnections between the subtropical monsoons and high-latitude climates during the last deglaciation. *Science* **272**, 526-529.
- Sokolik, I. N., Winker, D. M., Bergametti, G., Gillette, D., Carmichael, G., Kaufman, Y. J., Gomes, L., Schuetz, L., y Penner, J. E. (2001). Introduction to special section: outstanding problems in quantifying the radiative impacts of mineral dust. *Journal of Geophysical Research* **106**, 18015-18027.
- Souriau, A., y Yiou, P. (2001). Grape harvest dates for checking NAO paleoreconstructions. *Geophysical Research Letters* **28**, 3895-3898.
- Stegmann, P. M., y Tindale, N. W. (1999). Global distribution of aerosols over the open ocean as derived from the coastal zone color scanner. *Global Biogeochemical Cycles* **13**, 383-397.
- Stevens, I., y Johnson, J. (2002). A numerical modelling study of upwelling filaments off the North-West African coast. *Oceanologica Acta* **submitted**.
- Street-Perrot, F. A., Holmes, J. A., Waller, M. P., Allen, M. J., Barber, N. G. H., Fothergill, P. A., Harkness, D. D., Ivanovich, M., Kroon, D., y Perrot, R. A. (2000). Drought and dust deposition in the west African Sahel: a 5500-year record from Kakemaru Oasis, northeastern Nigeria. *The Holocene* **10**, 293-302.
- Stuut, J.-B. (2001). "Late Quaternary Southwestern African terrestrial-climate signals in the marine record of Walvis Ridge, SE Atlantic Ocean." Tesis Doctoral, Utrecht University.
- Svensson, A., Biscaye, P., y Grousset, F. E. (2000). Characterization of late glacial continental dust in the Greenland Ice Core Project ice core. *Journal of Geophysical Research* **105**, 4637-4656.
- Swap, R., Ulanski, S., Cobbett, M., y Garstang, M. (1996). Temporal and spatial characteristics of Saharan dust outbreaks. *Journal of Geophysical Research* **101**, 4205-4220.
- Syvitski, J. P. M., LeBlanc, K. W. G., y Asprey, K. W. (1991). Interlaboratory, interinstrument calibration experiment. En "Principles, methods, and application of particle size analysis." (J. P. M. Syvitski, Ed.), pp. 174-193. Cambridge University Press, Cambridge.

- Targarona, J. (1997). "Climatic and oceanographic evolution of the Mediterranean region over the last Glacial-Interglacial transition; a palynological approach", Tesis Doctoral, Utrecht University.
- Taylor, K. C., Lamorey, G. W., Doyle, G. A., Alley, R. B., Grootes, P., Mayewski, P. A., White, J. W. C., y Barlow, L. K. (1993). The 'flickering switch' of late Pleistocene climate change. *Nature* **361**, 432-436.
- Tetzlaff, G., y Wolter, K. (1980). Meteorological patterns and the transport of mineral dust from the north African continent. *Palaeoecology of Africa* **12**, 31-42.
- Tiedemann, R., Sarnthein, M., y Stein, R. (1989). Climatic changes in the Western Sahara: aeolomarine sediment record of the last 8 million years (sites 657-661). En "Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results." (W. Ruddiman, y M. Sarnthein, Eds.), pp. 241-261.
- Tintoré, J., La Violette, P. E., Blade, I., y Cruzado, A. (1988). A study of an intense density front in the Eastern Alboran Sea: The Almeria-Oran front. *Journal of Physical Oceanography* **18**, 1384-1397.
- Torres, M. E., Brumsack, H.-J., Bohrmann, G., y Emeis, K. C. (1996). Barite fronts in continental margin sediments: a new look at barium remobilization in the zone of sulfate reduction and formation of heavy barites in diagenetic fronts. *Chemical Geology* **127**, 125-139.
- Torres-Padrón, M. E., Gelado-Caballero, M. D., Collado-Sánchez, C., Siruela-Matos, V. F., Cardona-Castellano, P. J., y Hernández-Brito, J. J. (2002). Variability of dust inputs to the CANIGO zone. *Deep Sea Research II (CANIGO Special Issue)* **in press**.
- Tzedakis, C. (1999). The last climatic cycle at Kopais, central Greece. *Journal of Geological Society of London* **156**, 425-434.
- Van Camp, L., Nykjaer, L., Mittelstaedt, E., y Schlittenhardt, P. (1991). Upwelling and boundary circulation off Northwest Africa as depicted by infrared and visible satellite observations. *Progress in Oceanography* **26**, 357-402.
- Van Kreveland, S. A., Sarnthein, M., Erlenkeuser, H., Grootes, P., Jung, S., Nadeau, M. J., Pflaumann, U., y Voelker, A. (2000). Potential links between surging ice sheets, circulation changes and the Dansgaard-Oeschger cycles in the Irminger Sea, 60-18 kyr. *Paleoceanography* **15**, 425-442.
- Van Os, B., Middelburg, J. J., y De Lange, G. J. (1991). Possible diagenetic mobilization of barium in sapropelic sediment from the eastern Mediterranean. *Marine Geology* **100**, 125-136.
- Vidal, L., Labeyrie, L., Cortijo, E., Arnold, M., Duplessy, J. C., Michel, E., Becqué, S., y van Weering, T. C. E. (1997). Evidence for changes in the North Atlantic Deep Waters linked to meltwater surges during the Heinrich events. *Earth and Planetary Science Letters* **146**, 13-27.
- Vink, A., Rühlemann, C., Zonneveld, K. A. F., Mulitza, S., Hüls, M., y Willems, H. (2001). Shifts in the position of the North Equatorial Current and rapid productivity changes in the western Tropical Atlantic during the last glacial. *Paleoceanography* **16**, 479-490.
- Voelker, A. (2002). Global distribution of centennial-scale records for marine isotope stage (MIS) 3: a database. *Quaternary Science Reviews* **21**, 1185-1212.
- Wang, L., y Oba, T. (1998). Tele-connections between East Asian monsoon and the high-latitude climate: a comparison between the GISP 2 ice core record and the high resolution marine records from the Japan and the south China seas. *Quaternary Research* **37**, 211-219.
- Wang, L., y Sarnthein, M. (1999). Long-/short-term variations of monsoon climate and its teleconnection to global change: High resolution grain size records of siliciclastic sediments from the South China Sea. En "Reconstructing Ocean History: A Window into the Future." (F.

- Abrantes, y A. C. Mix, Eds.), pp. 57-72. Plenum Publishers, New York.
- Wang, L., Sarnthein, M., Erlenkeuser, H., Grimalt, J. O., Grootes, P., Heilig, S., Ivanova, E., Kienast, M., Pelejero, C., y Pflaumann, U. (1999). East Asian monsoon climate during the Late Pleistocene: high-resolution sediment records from the South China Sea. *Marine Geology*, 245-284.
- Watts, W. A., Allen, J. R. M., y Huntley, B. (2000). Palaeoecology of three interstadial event during oxygen-isotope Stages 3 and 4: a lacustrine record from Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **155**, 83-93.
- Wefer, G., y cruise participants (1997). "Report and preliminary results of METEOR-Cruise M 37/1, Lisbon-Las Palmas, 04.12.-23.12.1996." Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Bremen, 79 pp.
- Wefer, G., Segl, M., y cruise participants (1998). "Report and preliminary results of METEOR-Cruise M 42/4, Las Palmas-Viena do Castelo, 26.09.-26.10.1998." Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Bremen, 104 pp.
- Weltje, G. J. (1997). End-member modeling of compositional data: numerical-statistical algorithms for solving the explicit mixing problem. *Journal of Mathematical Geology* **29**, 503-549.
- Yiou, P., Baert, E., y Loutre, M. F. (1996). Spectral analysis of climate data. *Surveys in Geophysics* **17**, 619-663.
- Yiou, P., Fuhrer, K., Meeker, L. D., Jouzel, J., Johnsen, S. J., y Mayewski, P. A. (1997). Paleoclimatic variability inferred from the spectral analysis of Greenland and Antarctic ice-core data. *Journal of Geophysical Research* **102**, 26441-26454.
- Zahn, R., Schönfeld, J., Kudrass, H. R., Park, M. H., Erlenkeuser, H., y Grootes, P. (1997). Thermohaline instability in the North Atlantic during meltwater events: stable isotope and ice-rafted detritus records from core S075-26KL, Portuguese margin. *Paleoceanography* **12**, 696-710.
- Zhisheng, A., Kutzbach, J. E., Prell, W., y Porter, S. C. (2001). Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times. *Nature* **411**, 62-66.



**VI. ANEXOS**

---





## Glosario de los términos en inglés

**Biological pump:** Proceso que engloba los efectos que tiene la formación, modificación y sedimentación marina de partículas orgánicas en la concentración de CO<sub>2</sub>. Hace referencia así al papel de los organismos en el ciclo del carbono.

**Bond cycles:** Se conoce así a la agrupación de varios ciclos de Dansgaard/Oeschger de calentamiento-enfriamiento que culminan en un enfriamiento mayor (Evento de Heinrich). Se reconocieron por primera vez por G. Bond y sus colaboradores en sedimentos del Atlántico Norte.

**Critical wind shear velocity:** Se traduce por velocidad crítica de cizalla y es la velocidad que debe alcanzar el viento para transportar una determinada cantidad de partículas en una unidad de tiempo.

**Dansgaard-Oeschger cycles:** Son ciclos de variabilidad climática de escala milenaria detectados en los testigos de hielo de Groenlandia por primera vez, donde indicaron las oscilaciones en la temperatura atmosférica sobre Groenlandia. Constan de una fase de calentamiento brusco seguido por un enfriamiento gradual.

**Easterly waves:** Disturbancias migratorias con forma ondulatoria en los vientos tropicales del este (*tropical easterlies*). Ocasionalmente se pueden intensificar y derivar en ciclones tropicales.

**Eastern boundary current:** Se conocen así a las corrientes oceánicas que configuran el límite oriental de los giros subtropicales. Su estudio es de gran interés porque suelen constituir zonas de afloramiento costero (*upwelling*).

**End-member:** Representan las subpoblaciones en las que se podría dividir un conjunto de muestras. En esta Tesis, este término se emplea asociado a los análisis granulométricos. Se pretende modelizar cuáles fueron las distribuciones granulométricas originales, es decir, previas a la mezcla por los diferentes procesos de transporte.

**Equivalent Spherical Diameter:** Casi todos los métodos de análisis granulométrico utilizan este término que procede de asimilar las partículas a esferas. Así, cuando expresamos que una partícula tiene un valor de 2 mm de *diámetro esférico equivalente* se debe a que se comporta (bien porque sedimenta en el mismo tiempo, bien porque difracta la luz con el mismo ángulo, etc) igual que una esfera de 2 mm de diámetro.

**Feedback:** La traducción directa es *retroalimentación*. Referido al clima, se habla de mecanismos de retroalimentación o feedback para aquellos procesos que por sí mismos conducen a una intensificación del cambio climático producido (*feedback positivo*) o derivan en el efecto opuesto (*feedback negativo*).

**F-test:** Es un test estadístico que comprueba varias hipótesis estadísticas sobre la media (o medias) de las distribuciones de las cuales se ha obtenido una muestra o un conjunto de muestras. El valor obtenido de F proporciona una prueba de la significancia estadística de las diferencias observadas entre las medias de dos o más muestras al azar.

**Heinrich events:** Son enfriamientos importantes de la temperatura atmosférica y oceánica que forman parte de los ciclos de Bond, con periodos de recurrencia entre 7.000 y 10.000 años. Se reconocieron primeramente en sedimentos del Atlántico Norte por la presencia de acumulaciones de material detrítico de origen continental que se interpretaron como material transportado por los icebergs.

**Ice House /Greenhouse:** La historia de la Tierra se puede dividir en grandes periodos de *Ice*

*House* o de *Greenhouse* en función de que se desarrollen casquetes glaciares en los polos (como en el Cuaternario) o éstos no lleguen a formarse (como a finales del Paleozoico).

**Ice Rafted Detritus:** Este término hace referencia al material transportado por las descargas masivas de icebergs durante los Eventos de Heinrich y que queda acumulado en el sedimento marino. En función de su composición mineralógica y geoquímica se está investigando su origen.

**Intertropical Convergence Zone:** Zona de bajas presiones cercana al Ecuador, entre 5°N y 5°S donde convergen los vientos alisios del NE y del SE. La alta insolación recibida en esa region fuerza al aire a elevarse por convección lo cual resulta en una precipitación elevada. La ITCZ es un componente clave del sistema de circulación atmosférica global.

**Jets (tropical, polar and subtropical):** Son vientos relativamente fuertes que se concentran en una banda estrecha en la atmósfera. Hay un *jet stream* (*corriente de chorro*) asociado al frente polar en las altas y medias latitudes que fluye de oeste a este y está localizado a altitudes entre 9 y 12 km. El tropical se desarrolla en la cara ecuatorial de los dos anticiclones subtropicales y a alturas cercanas a los 15 km y el subtropical se encuentra ente 20 y 30° de latitud y 12-14 km de altitud.

**k-means clustering:** Es un método estadístico que permite realizar grupos de componentes semejantes. Inicialmente, toma el número de componentes de la población igual al número final de grupos. Posteriormente, examina cada componente en la población y lo asigna a uno de los grupos (*clusters*) dependiendo de la distancia a la que se encuentre. La posición central del *cluster* se recalcula cada vez que un componente se añade a un grupo; así se continúa hasta que todos los componentes están agrupados en el número requerido de grupos.

**Least-square fit:** Este es un método estadístico por el que se obtiene la tendencia de una serie de datos. Asume que la mejor curva que se aproxima al conjunto de los datos, es decir, la que proporciona una desviación mínima, es la que se obtiene a partir de la suma mínima de las desviaciones al cuadrado. Si los datos son  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , donde  $x$  es la variable independiente;  $y$  es la dependiente, la curva buscada,  $f(x)$ , tiene una desviación,  $d$ , para cada punto, ej.  $d_1 = y_1 - f(x_1), \dots, d_n = y_n - f(x_n)$ . De acuerdo con el método de los mínimos cuadrados, la curva que mejor se aproximará a nuestros datos cumplirá que la suma de esas desviaciones sea mínima.

**North Atlantic Oscillation:** Patrón de circulación atmosférica del Atlántico Norte que se mide a partir de la diferencia de presión entre Lisboa (Portugal) y Stykkisholmur (Islandia). Se observa que muestra una ciclicidad de escala decadal.

**Oceanic Conveyor Belt:** Cinta oceánica que transporta calor de un lado a otro del planeta mediante la formación de corrientes profundas en algunos puntos y su afloramiento en otros.

**Polar Circulation Index:** Índice obtenido a partir de la concentración de sales marinas y polvo mineral en las burbujas de aire atrapadas en el hielo del testigo GISP2 de Groenlandia. Este índice se usa como indicador de la intensidad de la circulación atmosférica sobre Groenlandia.

**Polar easterlies:** Conjunto de vientos del este situados en altas latitudes, entre el polo y las bajas presiones polares.

**Proxy:** Son indicadores indirectos de cualquier propiedad que no podemos medir directamente por pertenecer al pasado. Por ejemplo, el tamaño de grano del material eólico registrado en los sedimentos marinos puede ser una *proxy* de la intensidad de los vientos del pasado.

**Radiative forcing:** Es el cambio en el balance existente entre la radiación que entra en la atmósfera y la que sale. Un *radiative forcing* positivo tiende, en general, a calentar la superficie de la Tierra, y uno negativo, a enfriarla.

**Saharan Air Layer:** Se conoce así a una capa de aire procedente del Sur del Sahara-Sahel que destaca por su papel en el transporte de polvo de origen desértico a grandes distancias. Esta capa se sitúa a bastante altitud, por encima de los vientos superficiales alisios o monzónicos.

**Sea Ice:** Es una capa delgada, sólida y frágil que se forma en los Océanos Polares. Forma un límite entre el océano (relativamente cálido) y la atmósfera (más fría). Su espesor varía enormemente y es función de si es resultante de uno o varios inviernos.

**Seamount:** Son montañas submarinas, generalmente de origen volcánico que sobresalen sobre los fondos abisales.

**Sortable silt:** Hace referencia a la fracción granulométrica localizada entre 10 y 63  $\mu$ m, es decir, la fracción susceptible de ser clasificada durante el transporte. Por debajo de 10 micras el comportamiento es fundamentalmente cohesivo, por lo que las partículas se agregan fácilmente y su comportamiento no está regido esencialmente por su tamaño de grano original.

**Singular spectrum analyses:** Es un método de análisis estadístico que nos permite separar el ruido de la señal en una serie climática. Permite descifrar la información existente en una serie descomponiéndola en sus diferentes patrones de comportamiento. Los componentes hallados corresponderán con la tendencia, los patrones oscilatorios y el ruido.

**Sorting:** Es el grado de clasificación de un sedimento, es decir, una medida de la eficacia del medio de transporte y/o de la madurez del sedimento. Se suele medir en unidades  $\phi$

**Teleconnections:** Aplicado a la variabilidad climática, éste término hace referencia a las conexiones climáticas entre zonas alejadas del globo terráqueo (altas-bajas latitudes; Hemisferio Norte-Hemisferio Sur...). La comprensión de las teleconexiones observadas a diferentes escalas temporales es fundamental para el conocimiento del sistema climático.

**Trade winds:** Son los vientos superficiales típicos de las zonas subtropicales y tropicales. Se encuentran en una banda entre 30°N y 30°S y van dirigidos desde los anticiclones subtropicales hacia las bajas presiones del ecuador (desde el NE en el Hemisferio Norte y desde el SE en el Hemisferio Sur, por el efecto de Coriolis).

**Upwelling:** Proceso de afloramiento a la superficie de aguas subsuperficiales debido a la influencia de los vientos que soplan paralelos a la costa (*upwelling costero*) o en el ecuador (*upwelling ecuatorial*). Si las aguas que ascienden son ricas en nutrientes, se establecen áreas de alta productividad oceánica.

**Westerlies:** Son los vientos dominantes que provienen del oeste y tienen lugar en la cara polar de los anticiclones subtropicales, es decir, en las latitudes medias.

**Western/eastern Alboran gyres:** Son dos giros anticiclónicos semi-permanentes formados por el agua superficial Atlántica que se encuentran respectivamente en las subcuencas occidental y oriental del Mar de Alborán. En sus bordes tienen lugar procesos de afloramiento.

**Younger Dryas:** Episodio frío que tuvo lugar durante la última desglaciación y que afectó a la mayor parte del Hemisferio Norte. Se asocia con debilitamientos de la circulación termohalina y, por tanto, con descensos en el transporte de calor hacia las latitudes altas.



### **Abreviaturas empleadas**

AABW: Antarctic Bottom Water

AIW: Antarctic Intermediate Water

AO: Artic Oscillation

AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer

B&T: Blackman & Tukey

CANIGO: Canary Islands, Azores and Gibraltar Observations

CLIVAR: Climate Variability and Predictability

COHMAP: Cooperative Holocene Mapping Project

CZCS: Coastal Zone Colour Scanner

DIRTMAP: Dust Indicators and Records of Terrestrial and Marine Paleoenvironments

D/O: Dansgaard/Oeschger

EAG: Estern Alboran Gyre

EMDW: Eastern Mediterranean Deep Water

ENSO: El Niño-Southern Oscillation

FRX: Fluorescencia de Rayos X

HE: Heinrich Events

IDDI: Infra-red Difference Dust Index

IMAGES: International Marine past Global Change Studies

IRD: Ice Rafted Detritus

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

ITCZ: Intertropical Convergence Zone

LIW: Levantine Intermediate Water

LSF: Least Square Fit

MAW: Modified Atlantic Water

MEM: Maximum Entrophy Method

MOW: Mediterranean Outflowing Water

MTM: Multi-Taper Method

NACW: North Atlantic Central Water

NADW: North Atlantic Deep Water

NAO: North Atlantic Oscillation

PCI: Polar Circulation Index

SAL: Saharan Air Layer

SeaWiFS: Sea-viewing Wide Field of view Sensor

SPECMAP: Spectral Mapping Project

SS: Sortable Silt

SSA: Singular Spectrum Analyses

SST: Sea Surface Temperature

TOMS: Total Ozone Mapping Spectrometer

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

WAG: Western Alboran Gyre

WMDW: Western Mediterranean Deep Water