

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
TRABAJO FIN DE GRADO



**VNIVERSIDAD
D SALAMANCA**

***ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO Y PALEOAMBIENTAL
DEL MIOCENO SUPERIOR DEL IODP SITE 1587
(EXPEDITION 397) MEDIANTE EMPLEO DE
NANOFÓSILES CALCÁREOS***

***BIOSTRATIGRAPHIC AND PALEOENVIRONMENTAL STUDY BASED IN CALCAREOUS
NANNOFOSSILS IN THE LATE MIOCENE, IODP SITE 1587 (EXPEDITION 397)***

AUTOR: D. Mario Benito Asensio

TUTOR: Dr. D. José Abel Flores Villarejo

Grado en Geología

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS.....	6
3. ANTECEDENTES.....	6
3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	6
3.2 HIDROGRAFÍA SUPERFICIAL	9
4. CICLOS DE MILANKOVITCH	11
5. MATERIAL	14
6. BIOESTRATIGRAFÍA	17
7. INDICADORES AMBIENTALES	18
8. BIOCRONOLOGÍA.....	18
9. METODOLOGÍA.....	22
10. RESULTADOS.....	26
11. DISCUSIÓN.....	30
12. CONCLUSIONES.....	32
13. BIBLIOGRAFÍA.....	33

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado estudia una sección de 8,66 m de extensión de la excavación U1587, obtenida durante la Expedición 397 (11 de octubre al 11 de diciembre de 2022). En concreto, se analizan 12 muestras de nanofósiles para identificar especies y determinar su ambiente, relacionándolos con la alternancia de materiales claros (ricos en carbonatos) y oscuros (ricos en arcillas). Además, con la información de la profundidad de cada muestra y la tasa de sedimentación, se ha estimado la edad de la zona excavada y la diferencia temporal entre muestras. Este análisis ha permitido reconstruir el ambiente pasado, evidenciando una alternancia entre condiciones cálidas, húmedas y oligotróficas, y templadas, secas, eutróficas con mayor viento. Esta alternancia se asocia a procesos de *upwelling* y la influencia de los ciclos de Milankovitch, específicamente de los ciclos de precesión.

Palabras clave: Expedición 397, excavación U1587, nanofósiles, *upwelling* y ciclos de Milankovitch

ABSTRACT

This Final Degree Project studies a section of 8.66 meters in length of the U1587 excavation, obtained during Expedition 397 (October 11 to December 11, 2022). Specifically, 12 samples of nanofossils are analyzed in order to identify species and determine their environment, relating them to the alternation of light materials (rich in carbonates) and dark materials (rich in clays). Additionally, with information on the depth of each sample and the sedimentation rate, the age of the excavated area and the time difference between samples have been estimated. This analysis has allowed the reconstruction of the past environment, showing an alternation between warm, humid, and oligotrophic conditions, and temperate, dry, eutrophic conditions with more wind. This alternation is associated with upwelling processes and the influence of Milankovitch cycles, specifically precession cycles.

Keywords: Expedition 397, the U1587 excavation, nanofossils, upwelling processes and Milankovitch cycles.

1. INTRODUCCIÓN

Entre el 11 de octubre y el 11 de diciembre de 2022 tuvo lugar la Expedición 397 del Programa Internacional de Descubrimiento de Océanos (IODP). Esta investigación se realizó en el suroeste del margen de la Península Ibérica (Figura 1), en una zona que destaca por la rápida acumulación de sedimentos ~ 10 cm/ky, y de gran interés para los investigadores por la alta fiabilidad de las señales climáticas que aquí se conservan.

Concretamente, el presente Trabajo de Fin de Grado se centra en el estudio de las muestras tomadas en el sitio U1587 (Figura 1), la segunda perforación localizada a mayor profundidad (3479 mbsl) y también la segunda más alejada de la línea de costa, por detrás de U1586, de la zona baja de la meseta denominada *Promontorio do Príncipes de Avis (PPA)*, la cual se encuentra protegida de las corrientes de fondo y del depósito de turbiditas (Hodell *et al.*, 2023).

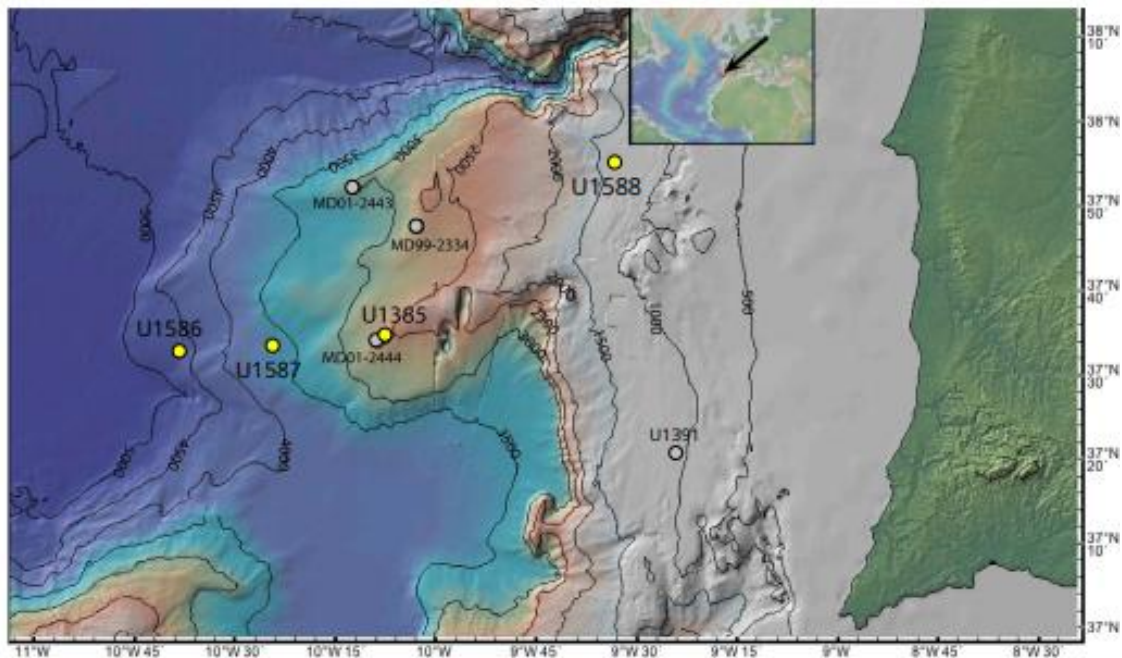


Figura 1. Representación batimétrica del PPA, donde se pueden distinguir los cuatro puntos donde se hizo la Expedición 397. Fuente: Hodell *et al.*, 2023, p. 6.

Debido a su profundidad, la excavación U1587 se encuentra en la zona LDW (*Lower Deep Water*), caracterizada por la influencia de AABW (*Antarctic Bottom Water*) modificadas. Esto ha provocado cambios significativos en esta área.

Cabe destacar que la alta tasa de sedimentación que presenta U1587, junto a un registro continuo, permite la realización de una reconstrucción climática de los últimos 7,8 Ma. Además, con el estudio de este sitio surgió una buena oportunidad para estudiar la Crisis de Salinidad del Messiniense en una zona adyacente al Mediterráneo (Hodell *et al.*, 2023).

La región del margen ibérico presenta un *upwelling*¹ costero que se caracteriza por un aumento de la producción primaria como consecuencia de la dirección e intensidad del viento estacional (mayo-septiembre). Estas aguas presentan una gran riqueza en nutrientes, esto provoca que exista una zona de transición entre el agua de alta mar, oligotrófica, y la de costa, muy productiva. Como resultado de este proceso de *upwelling* las características físicas, geoquímicas, los conjuntos de foraminíferos planctónicos y diatomeas, así como su distribución geográfica, se reflejan en los sedimentos que cubren el fondo del océano en esta área (Abrantes & Moita, 1999; Hodell *et al.*, 2023).

Gracias a los varios estudios que se han hecho de la variabilidad geológica del *upwelling* en las diferentes escalas, ya sea milenarias u orbitales, se puede interpretar que el incremento en la tasa de acumulación de las diatomeas, junto a otros indicadores de la productividad, pueden asociarse a un aumento en un orden de magnitud de la productividad durante los períodos glaciares previos (Abrantes, 1991, 2000).

El estudio de foraminíferos planctónicos de alta resolución pertenecientes a tres sitios diferentes del margen ibérico indica un patrón norte-sur más complejo, aunque se sugiere un aumento de la producción primaria asociada con los eventos de Heinrich frente a la costa portuguesa. La productividad primaria disminuyó significativamente durante los eventos estadales (períodos relativamente fríos) y Heinrich en el margen norte, pero aumentó cerca de los sitios de la Expedición 397 y frente a Sines en la región de influencia del filamento del Cabo da Roca. (Hodell *et al.*, 2023)

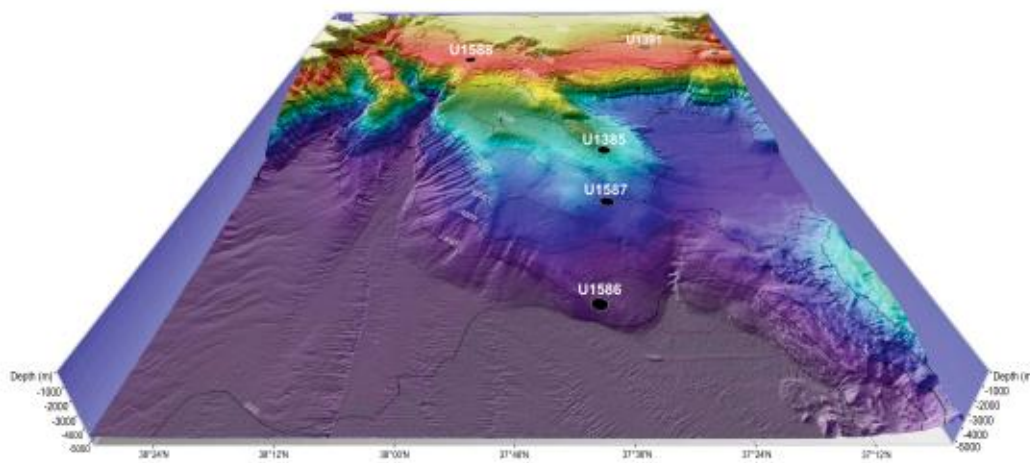


Figura 2. Representación de la forma que adopta el PPA en función de la profundidad. Se encuentra orientado hacia la costa es decir al Este. Fuente: Hodell *et al.*, 2023, p. 6.

Como resultado de esta perforación se obtuvo una secuencia 567 m. con una edad que va desde el Mioceno tardío hasta el Holoceno.

En este Trabajo Fin de Grado, el estudio realizado se centra en una sección de 8,66 metros correspondiente al Mioceno Superior.

¹ Fenómeno oceanográfico en el que las aguas profundas, frías y ricas en nutrientes ascienden a la superficie del océano debido a los vientos que desplazan las aguas superficiales.

2. OBJETIVOS.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la asociación de microfósiles calcáreos de la excavación U1587 con el fin de realizar un estudio bioestratigráfico y paleoambiental.

Para ello se prepararán muestras para identificar las diferentes especies de nanofósiles calcáreos de la muestra. Se llevarán a cabo contajes y se verán las distintas asociaciones para obtener información importante sobre la ecología y una aproximación del rango temporal. Además, también se estudiarán las diferentes facies y cambios (componentes, color y asociación fósil) que se ven en las mismas. Con todo ello se realizará una reconstrucción paleoambiental, atendiendo a los procesos y cambios que se produjeron en la zona y relacionarlos así con la variabilidad observada en el Atlántico norte durante el Messiniense

3. ANTECEDENTES

3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

La zona de estudio se sitúa en el margen ibérico suroccidental, una zona extensa del talud continental denominada meseta *Promontório dos Príncipes de Avis* que se extiende hasta la Llanura Abisal del Tajo (Figura 1). Se caracteriza por presentar una forma alargada con unas medidas de 100 km por 50 km de ancho (Figura 2), su cima puede rondar entre 1.500 y 5.000 m. en profundidad, siendo su pendiente de segundo orden y con una orientación NE-SW

La meseta PPA se encuentra limitada en la parte norte por la BIDH (*Bacia Inante D. Henrique*), mientras que la zona sur limita con el PAT (*Tagus Abyssal Plain*), en donde las turbiditas se canalizan gracias al efecto de unos cañones submarinos, lo que permite aislar ese material del PPA.

Por otro lado, en la parte suroeste se pueden distinguir un par de elevaciones y algunas estructuras alargadas, debido esto a la influencia de dos fallas inversas y a la presencia de un canal. (Figura 3). Este canal tiene una morfología escalonada que genera dos huecos de gran tamaño, se encuentra entre PPA Y BG (Banco de Gorringe) y lleva los sedimentos desde el norte hasta el sur (de BIDH al PAT) (Batista, 2009).

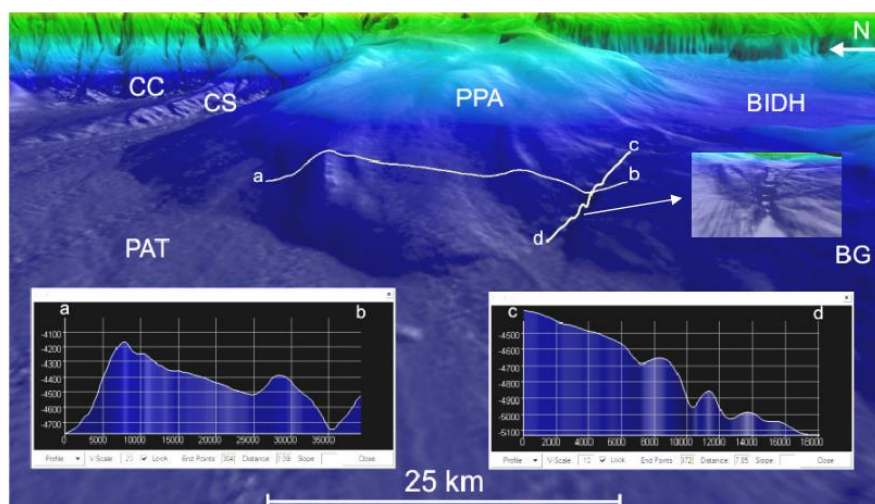


Figura 3. Representación de los rasgos morfológicos del PPA, BIDH y PAT. Fuente: Batista, 2009, p. 50.

Cabe destacar que a la hora de seleccionar los puntos para la Expedición 397 se tuvo en cuenta la información sísmica de la zona; a través del RSS James Cook, realizado en 2013, se pudieron conseguir líneas sísmicas de alta resolución (Hodell *et al.*, 2023).

Durante este crucero se pudo conseguir material que indicaba la presencia en esta área de sedimentos hemipelágicos (lodos y arcillas con nanofósiles), todo ello extraído de los núcleos de pistones. Además, con respecto al material, se observaron variaciones en cuanto al contenido de terrígenos y carbonato biogénico (Hodell *et al.*, 2023), así como que en la zona del margen ibérico los materiales más finos se encuentran afectados por una capa de nefeloide² que está muy relacionada con el MOW (*Mediterranean Outflow Water*) (Abrantes, 2000; Ambar *et al.*, 2002; Magill *et al.*, 2018). Asimismo, y como ya se dijo anteriormente, esta zona presenta una tasa de sedimentación elevada que varía desde 10 hasta 20 cm/ky. Durante los períodos glaciares e interglaciares se produce un aumento en la cantidad de los sedimentos pelágicos y a su transporte lateral por la influencia de las corrientes de fondo y las que se generan en los contornos.

A través de corrientes de turbidez, los materiales de los ríos Tajo y Sado se canalizan usando cañones submarinos que llegan hasta las llanuras abisales (Hodell *et al.*, 2023).

En el trabajo de Batista (2009) se hizo una interpretación sismoestratigráfica en la que se observan estructuras relacionadas con su formación y con la morfología que presenta actualmente. Así, los rasgos que se pueden indicar de las fallas de las Figuras 4, 5 y 6 son:

- Las fallas F1 y F2 son paralelas con el mismo tipo de movimiento, desplazando la superficie del fondo marino. La primera marca el límite entre PPA y PAT.
- Las fallas F3, F4 y F5 están en la parte central del PPA, y solamente F3 y F5 afectan deformando la superficie. En el caso de F4, esta falla duplica la sucesión sedimentaria hasta que llega al H3, con lo que muestra el efecto de esta falla hasta el Plioceno Superior.

² Capa en una masa de agua, especialmente en océanos o grandes lagos, donde se da una elevada concentración de partículas en suspensión. Estas partículas pueden incluir sedimentos, materia orgánica, y/u organismos microscópicos, que crean una apariencia turbia y reducen la transparencia del agua.

- La falla F6 marca el límite entre PPA y BIDH. A diferencia de las demás, presenta una vergencia totalmente opuesta, con una dirección hacia el SE. Deforma todos los horizontes del Plioceno Superior.

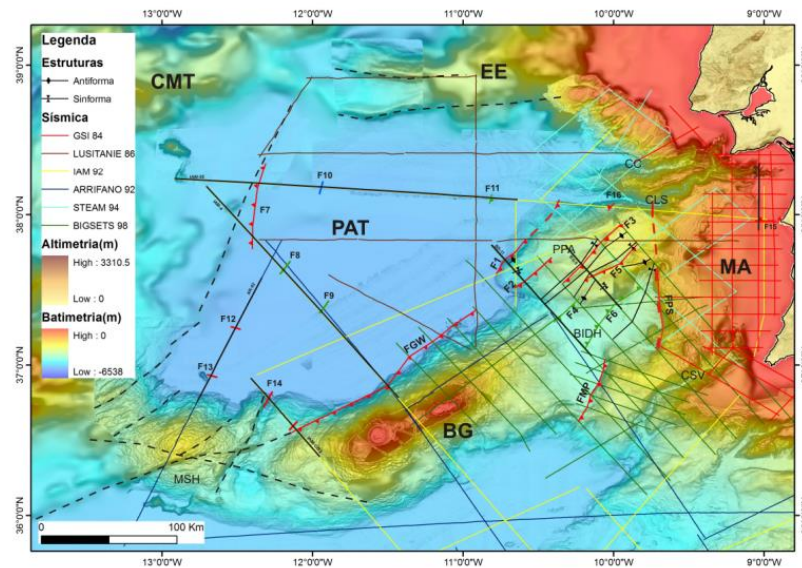


Figura 4. “Mapa generado en base a la interpretación sismoestratigráfica. PAT – Llanura Abisal del Tajo; EE – Esporão da Extremadura; CMT – Cresta Madeira-Tore; BG – Banco Gorringer; MA – Margem del Alentejo; CC – Cañón de Cascais; CLS – Cañón Lisboa-Setúbal; CSV – Cañón de São Vicente; PPA – Promontorio de los Príncipes de Avis; BIDH – Cuenca Infante D. Henrique; FGW – Falla de West Gorringer; FMP – Falla Marquês de Pombal; FPS – Falla de Pereira de Sousa. F1 a F6: fallas de PPA. Las líneas discontinuas representan los límites observados en la batimetría. El rojo muestra evidencia de movimiento en el Cuaternario; Las fallas en verde muestran evidencia de movimiento hasta el Plioceno”. Fuente: Batista, 2009, p. 68.

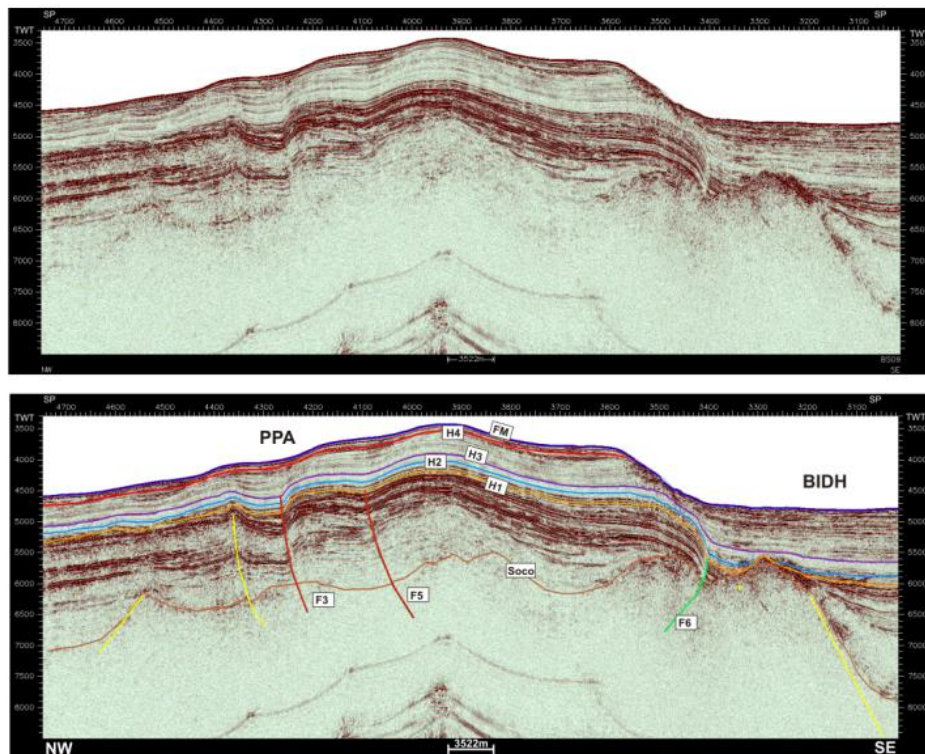


Figura 5. “Extracto del perfil MCS BS-9”. (...) “Las fallas F3 y F5 muestran evidencias de movimiento inverso en la actualidad y la falla F6 muestra evidencias de movimiento inverso hasta el Plioceno superior”. Fuente: Batista, 2009, p. 74.

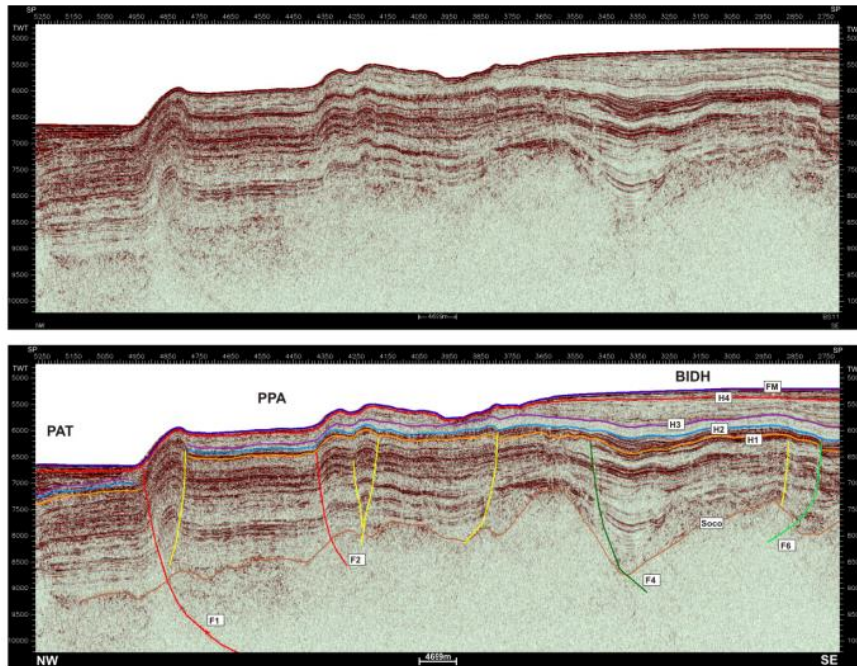


Figura 6: “Extracto del perfil MCS BS11”. (...) “Las fallas F1 y F2 muestran la presencia del movimiento inverso en la actualidad, mientras que la F4 informa del movimiento hasta principios del Plioceno (H2), en el caso de la F6 representa movimientos inversos hasta principios del Plioceno Superior”. Fuente: Batista, 2009, p. 75.

3.2 HIDROGRAFÍA SUPERFICIAL

El margen ibérico occidental se encuentra en el límite norte del sistema de *upwelling* que está en la parte oriental de la Corriente de Canarias y las procedentes del noroeste de África. Debido al *upwelling* costero, que se encuentra impulsado por los vientos procedentes del Norte, se genera que la dirección del flujo se oriente hacia el Ecuador (Fiúza *et al.*, 1998; Haynes *et al.*, 1993). También en la Figura 7 se puede observar la influencia de la PCC (*Portugal Coastal Current*), cuyo componente subsuperficial es el ENACW (*Eastern North Atlantic Central Water*) (Brambilla *et al.*, 2008).

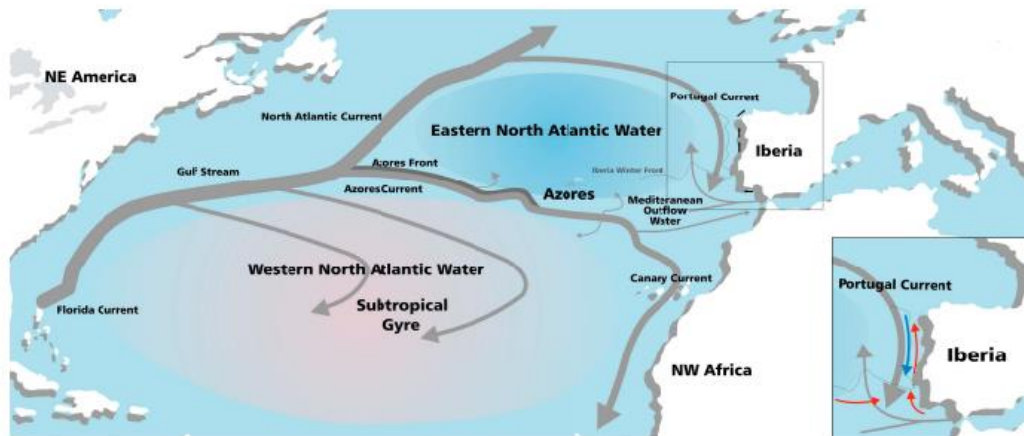


Figura 7: Representación de las corrientes de Azores, Portugal y Canarias. Nota: El recuadro inferior de la figura muestra “más detalles de la circulación superficial cambiante en el margen occidental de la Península Ibérica en verano (corriente costera de Portugal [PCC]; flechas azules) e invierno (corriente ibérica hacia los polos [IPC]; flechas rojas)”. Fuente: Hodell *et al.*, 2023, p. 15.

Otra corriente importante en esta zona es la de Azores (AC) (Figura 7), se caracteriza por estar limitada por el frente subtropical y diverge a partir de la Corriente del Golfo. La parte orientada desemboca en el Golfo de Cádiz, aunque gran parte de este circula hacia el Sur (Peliz *et al.*, 2005). Se genera un desvío en dirección Norte del frente subtropical a lo largo de los meses de invierno, lo que alimenta a la Corriente Ibérica hacia el Polo (Peliz *et al.*, 2005). Esta última presenta una corriente subterránea que transporta ENACW procedente de zona subtropical y generada a partir de procesos de evaporación y enfriamiento a lo largo del frente de Azores. En cambio, la ENACW de la zona subpolar es más fría, dulce y está mejor ventilada (Ríos *et al.*, 1992).

Por otra parte, se utilizó el Crucero JC089 para reconocer las características de temperatura y salinidad del agua subterránea (Figura 8), en concreto, se realizaron trece moldes de conductividad-temperatura-profundidad (CTD). Se pueden distinguir varios rangos en base a la profundidad: el primero por debajo de la termoclina, entre ~50 y 500 m, está ocupado por ENACW (van Aken, 2000); entre 500 y 1500 m. está MOW, cálido y salado³, y posteriormente se divide en dos núcleos a ~800 y 1200 m. hacia el Norte. Aún más en profundidad (2000 m) se encuentra NEADW (*Northeast Atlantic Deep Water*), “formada por una mezcla de agua del mar de Labrador, agua de desbordamiento de Islandia, Escocia, Dinamarca y, en menor medida, MOW y aguas profundas inferiores (LDW)” (Hodell *et al.*, 2023, p. 15), siendo esta última la más profunda.

³ Según Ambar y Howe (1979) este se forma cuando las aguas del Mediterráneo fluyen en el Estrecho de Gibraltar en dirección al Golfo de Cádiz.

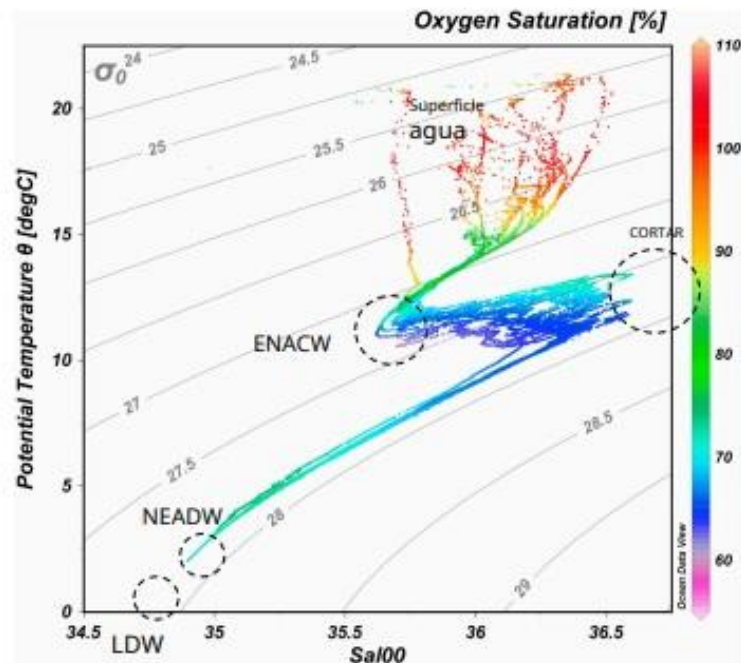


Figura 8: Representación de la temperatura frente a la salinidad de masas agua subterráneas del Crucero JC089 en el margen oriental de la Península. Las barras de color indican el porcentaje de saturación de oxígeno, mientras que el contorno de los círculos refleja la densidad potencial de las diferentes zonas. Fuente: Hodell *et al.*, 2023, p. 16.

4. CICLOS DE MILANKOVITCH

Para poder entender los procesos que se producen en esta zona, es importante comprender cómo influyen los ciclos orbitales y cómo funcionan. Para ello hay que hablar de los tres ciclos que se producen: precesión, oblicuidad y excentricidad.

- Precesión (Figura 9): como consecuencia de la forma achatada de la Tierra en los polos, la atracción generada por el Sol y los planetas sobre el ecuador genera un movimiento del planeta similar al de una peonza, girando sobre sí misma en torno a un eje imaginario. Este movimiento da como resultado que cada 11000 años aparezca una inversión en el hemisferio que este en ese momento recibiendo la mayor cantidad de radiación a consecuencia de su cercanía al sol. Todo esto acabará derivando en un refuerzo de las estaciones, esto se puede ver reflejado en la aparición de un verano corto y cálido junto a un frío y largo invierno, todo esto en caso de estar el hemisferio correspondiente en una situación de perihelio de verano. En el caso del otro hemisferio, experimenta un verano largo y templado junto a un corto y cálido invierno. Después de todos estos procesos, la precesión cumple su periodicidad cuando pasan aproximadamente 21000 años. (Sociedad Geológica de España, 2019; Martínez *et al.*, 2017)

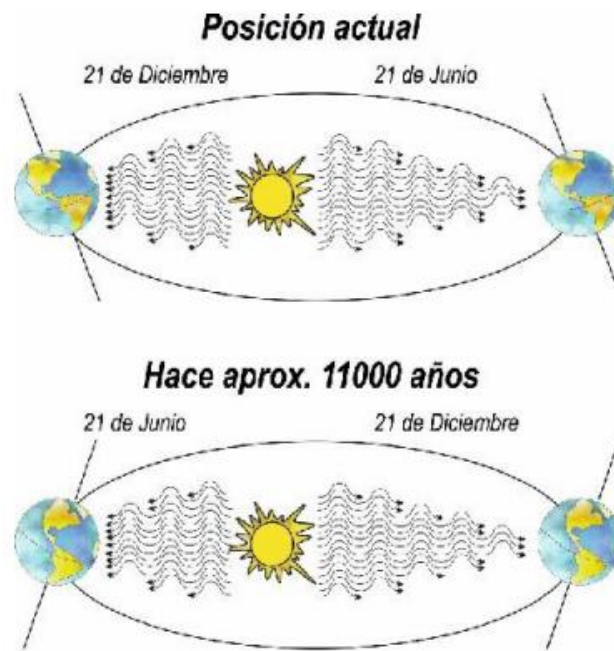


Figura 9: Representación del proceso de precesión hace 11.000 años. Fuente: Martínez et al., 2017

- Oblicuidad (Figura 10): Se produce como resultado de la atracción que ejerce la Luna junto al resto de planetas sobre la Tierra. Conlleva a una variación en el ángulo generado entre el plano del ecuador y la forma eclíptica, produciendo una inclinación de $23^{\circ}27'$. Las variaciones en la oblicuidad generan que los cambios entre estaciones sean mucho más pronunciados. En caso de estar en una situación donde hay inviernos muy fríos seguido de veranos calurosos y sofocantes, estaríamos en un momento de alta oblicuidad. En el caso opuesto donde hay veranos e inviernos mucho más suaves, sería una situación de baja oblicuidad. Este fenómeno tiene un período aproximado de 41.000 años. (Martínez et al., 2017; Sociedad Geológica de España, 2019).



Figura 10. Representación de la variación de la oblicuidad. Fuente: Martínez *et al.*, 2017.

- Excentricidad (Figura 11): Se genera por la influencia de la gravedad de los planetas pertenecientes al sistema solar, afectando a la órbita de la Tierra y con ello pequeñas variaciones. Todo esto acaba generando dos ciclos: por un lado, un período de excentricidad corta, que dura 93.000 años y provoca cambios estacionales suaves, por otro, excentricidad larga, que dura 420.000 años y se manifiesta provocando que los cambios estacionales sean mucho más acentuados, lo que a su vez presenta un mayor contraste entre los hemisferios. Otra forma en la que se puede manifestar la excentricidad es en el campo magnético, ya que se puede producir un aumento de la velocidad de rotación en el sistema Tierra-Luna, lo que ocurre cuando ambos están más cerca del sol. Si el giro se vuelve más lento el campo magnético se volverá más fuerte, lo que provocará una mayor protección frente a las partículas generadas por el sol, conllevando esto finalmente a un enfriamiento del clima (Martínez *et al.*, 2017; Sociedad Geológica de España, 2019).

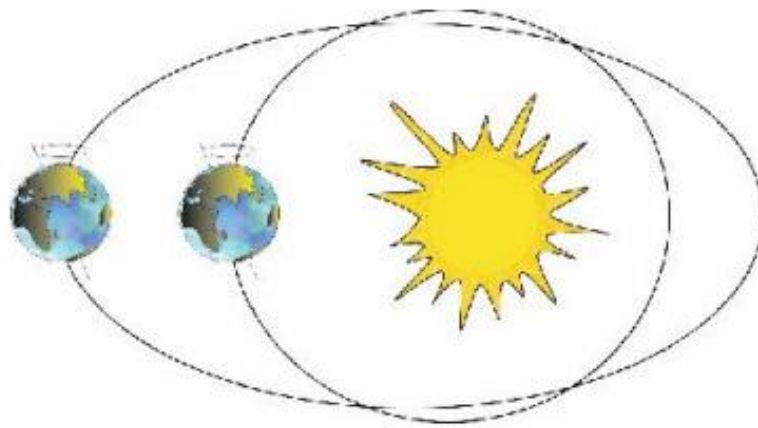


Figura 11. Representación del paso de una excentricidad circular a una elipse aproximadamente elongada. Fuente: Martínez et al., 2017.

5. MATERIAL

En la excavación U1587 se realizaron hasta tres perforaciones —U1587A (37°34.8602'N; 10°21.5400'W), B (37°34.8650'N; 10°21.5314'W) y C (37°34.8750'N; 10°21.5205'W)— hasta una profundidad de 567 m., extrayéndose un total de 1566 m. de sedimento.

En cuanto a lo extraído, se puede hablar de una litología formada por sedimentos hemipelágicos, con variaciones en los valores que puede tener diferencias en cuanto a nanofósiles exudados con un color grisáceo y con una tonalidad de marrón oscuro rico en arcillas. Un rasgo a destacar es la presencia de nódulos de pirita relleno los huecos, todo esto acompañado de una bioturbación con muchas variaciones Figura 12.

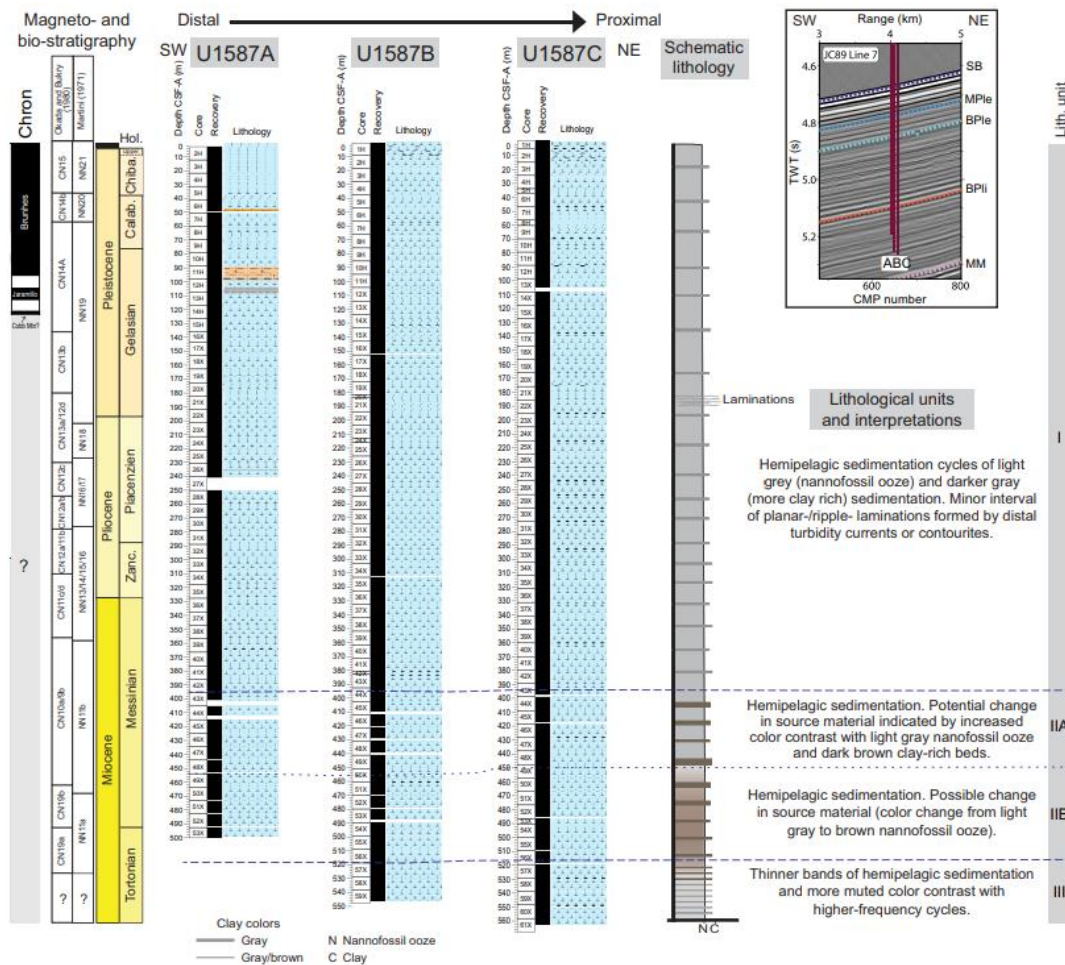


Figura 12. “Resumen litológico, Sitio U1587. Izquierda: magnetoestratigrafía y bioestratigrafía (biozonas nanofósiles). Centro: registros litoestratigráficos resumidos de los agujeros U1587A–U1587C, ordenados de izquierda a derecha de suroeste a noreste (ladera arriba a abajo). Línea discontinua azul = divisiones de unidades litoestratigráficas, línea punteada azul = división de subunidades (no relacionadas con el asentamiento). Derecha: nombres de unidades litológicas e interpretaciones preliminares de los procesos deposicionales. Los colores se basan en la descripción visual y en los valores de color ($L^*a^*b^*$). Los límites de las unidades y subunidades se basan principalmente en estructuras sedimentarias, así como en cambios de color y grosor de las bandas. El color es independiente de la litología y está relacionado con cantidades relativas de constituyentes menores como pirita y glauconita. Recuadro: sección recortada de la Línea Sísmica JC89 Línea 7 que muestra la ubicación a lo largo del transecto y la profundidad de los agujeros en el sitio. TWT = tiempo de viaje en ida y vuelta, CMP = punto medio común, SB = fondo marino, MPle = Pleistoceno medio, BPlé = Pleistoceno base, BPlí = Plioceno base, MM = Mioceno medio.” Fuente: Hodell et al., 2023, p. 30.

En la Figura 13 se puede observar que los sedimentos muestran la influencia de los cambios en la ciclicidad, lo que se aprecia en los cambios de color y rasgos físicos como MS y NGR. Esto implica cambios en la proporción de carbonato y arcilla, lo que se podría asociar con la alternancia de etapas de mayor productividad como consecuencia de un aumento en de los procesos de *upwelling*, acompañado de una mayor presencia de vientos fuertes al encontrarse en un entorno mucho más frío y seco. En la situación de las arcillas se daría la situación contraria con la disminución en la productividad y todos los procesos relacionados con ello y con un aumento en los aportes procedentes desde el continente y la presencia de un ambiente mucho más cálido y húmedo (J. Flores et al., 2005). Los valores bajos de MS y NGR se corresponden con sedimentos claros ricos en carbonatos, mientras que los más altos se asocian a un material oscuro con abundancia de arcillas.

Además, se puede observar también en esta figura cómo disminuye el valor de MS en torno a los 40 m. superiores, al mismo tiempo que se reduce el sulfato y se produce H_2S que a su vez reacciona con la magnetita, dando como resultado de esta reacción minerales de sulfuro de hierro. Igualmente, se pueden deducir la influencia de la compactación por el aumento de las densidades, la disminución de la porosidad y el incremento de la conductividad térmica (Hodell *et al.*, 2023).

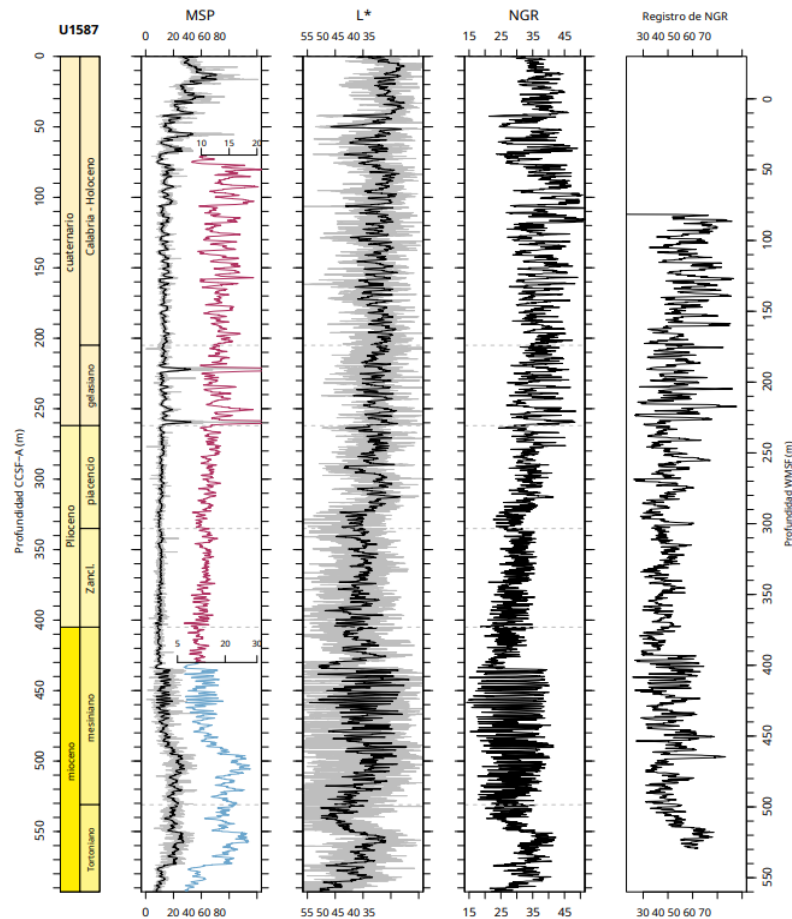


Figura 13. “Tendencias de datos de propiedades físicas del núcleo compuesto de fondo de pozo, sitio U1587. MSP = MS de medio punto de sección, NGR = NGR completo, registro de NGR = datos de NGR de la herramienta de registro combinada triple. WMSF = profundidad coincidente del registro con cable debajo del fondo marino. Los datos insertados de MSP (rojo y azul) son los mismos que los de la señal original, pero con una escala ampliada para resaltar la variabilidad. MSP y L*: la curva suavizada (línea negra; promedio móvil de 50 puntos) se muestra sobre los datos originales (línea gris). NGR: sólo se muestran datos originales”. Fuente: Hodell *et al.*, 2023, p. 31.

En cuanto a la magnetoestratigrafía, cabe destacar que esta se hizo teniendo en cuenta el NRM (*Natural Remanent Magnetization*). Se pudo identificar las siguientes inversiones de polaridad y los subcronos:

“El límite Brunhes/Matuyama (0,773 Ma), el límite Matuyama/Gauss (2,595 Ma) y el C3An.1n (6,023–6,272 Ma) y el C3An. 2n (6,386–6,727 Ma) Subcronos. Los subcronos Jaramillo (0,99–1,07 Ma) y posiblemente Cobb Mountain (1,18–1,215 Ma) se identificaron en núcleos APC del agujero U1587A. El C3Bn Chron (7.104–7.214 Ma) podría registrarse en los agujeros U1587B y U1587C, y los ~20 m. inferiores de sedimentos en el agujero U1587C posiblemente registran parte del C4n Chron (7.537–8.125 Ma)” (Hodell *et al.*, 2023, p. 31).

6. BIOESTRATIGRAFÍA

En Hodell *et al.* (2023) se realizó un modelo bioestratigráfico con una secuencia que abarca desde el Holoceno hasta el Mioceno medio, donde dentro del material extraído se distinguieron un total de 51 bioeventos a través de nanofósiles calcáreos y foraminíferos plantónicos (**Error! Reference source not found.**).

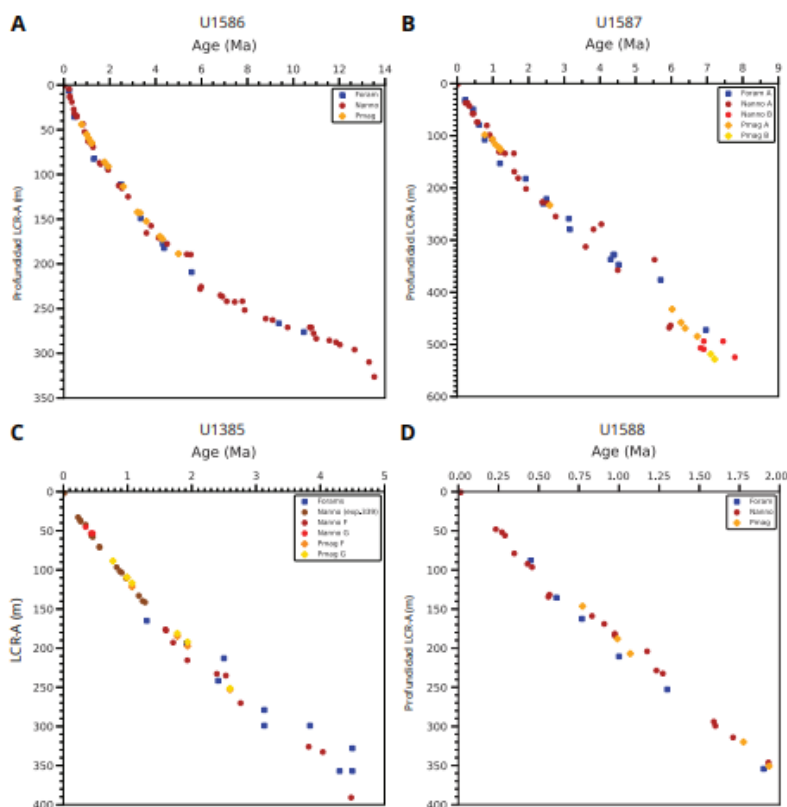


Figura 14. “Modelo de edad preliminar basado en nanofósiles calcáreos y eventos bioestratigráficos de foraminíferos planctónicos y transiciones magnetoestratigráficas para los sitios (A) U1586, (B) U1587, (C) U1385 y (D) U1588. Fuente: Hodell *et al.*, 2023, p. 26.

El estudio de las muestras consideradas en este Trabajo de Fin de Grado ha dado lugar al descubrimiento de una serie de especies cuyos rangos de edad son, en la gran mayoría de los casos, demasiado amplios; lo que dificulta la datación de la excavación en la que estas se han encontrado. Un ejemplo de esta amplitud puede encontrarse en la especie *Calcidiscus leptoporus*, que puede llegar hasta los 22 Ma (Backman, 1980; Baumann & Sprengel, 2000), o en *Coccolithus pelagicus*, de hasta los 66 Ma (Boesiger *et al.*, 2017; P.R. Bown, 1998).

No obstante, la presencia de especies como *Sphenolithus*, más concretamente *Sphenolithus verensis*, que presenta un rango de edad de entre 4-11 Ma (Backman, 1978; Howe, 2021); *Discoaster variabilis*, que abarca hasta los 23 Ma —aunque se puede concretar entre 5-10 Ma por la presencia de *Discoaster icarus*, una variante de este— (Browning *et al.*, 2017); *pentaradiatus* (2-10 Ma) (Bukry & Percival, 1971; Young, 1998) y *brouweri* (1.9-12 Ma) (Young, 1998) dan un rango más pequeño de

edades, lo que podría proporcionar una buena indicación del rango de tiempo en el que nos encontramos.

7. INDICADORES AMBIENTALES

A la hora de reconocer el ambiente que hubo en el pasado, hay que tener en cuenta a estas especies: *Discoaster*, *Sphenolithus*, *Coccolithus pelagicus* y *Reticulofenestra*. Estas son muy útiles, ya que se han estudiado mucho y se conoce perfectamente las condiciones en las que se encontraban, aunque hay otros como *Calcidicus leptoporus* que es difícil de encasillarlo en un intervalo de temperatura concreto, puesto que existen trabajos que lo asocian a un entorno cálido y oligotrófico (J. Flores *et al.*, 2005; Geitznauer *et al.*, 1977), mientras que otros lo vinculan con lo opuesto, es decir, condiciones frías y eutróficas (J. Flores *et al.*, 2005; J.R. Young, 1994; Self-Trail *et al.*, 2012).

Otro caso es *Pontosphaera*, pues debido a la información que hay de esta especie es difícil que aporte datos exactos, ya que lo que se sabe en cuanto a su distribución tanto estratigráfica como geográfica es muy limitada, por lo que no se suele usar para fines bioestratigráficos (Bartol, 2010).

Por otro lado, dentro de un ambiente cálido y oligotrófico se incluyen a los *Discoaster* y los *Sphenolithus* (González, 2015; J. Flores *et al.*, 2005), mientras que en el caso de los *Coccolithus pelagicus* —lo opuesto a los anteriores—, estos están relacionados con un ambiente frío y eutrófico (González, 2015; J. Flores *et al.*, 1995; J. Flores *et al.*, 2005).

Los *Reticulofenestra* son el grupo más abundante, en especial los más pequeños, seguidos de los que tienen una medida más intermedia. Su presencia es un claro indicador de una zona de alta productividad, lo que indica un ambiente que puede abarcar desde eutróficas hasta normales o incluso mixtas (J. Flores *et al.*, 2005).

Por último, el *Helicosphaera*, característico de aguas eutróficas de poca profundidad, casi continentales, alta salinidad o por lo menos fluctuante (Lozar *et al.*, 2010; Wade & Bown, 2006).

8. BIOCRONOLOGÍA

A través de la Figura 15, y sabiendo a la profundidad a la que se encuentra cada muestra Tabla 1, se puede situar de manera aproximada la edad de estas.

Tabla 1. Profundidad a la que se encuentra cada muestra analizada en este Trabajo Fin de Grado. El sombreado de la tabla indica si la muestra analizada presenta material oscuro (carbonatos) o claro (arcillas). Elaboración propia.

Código	Profundidad (m.)
397-U1587C-46X-1-W 6/6-NANNO	418,46
397-U1587C-46X-1-W 86/86-NANNO36	419,26
397-U1587C-46X-2-W 12/12-NANNO38	420,02
397-U1587C-46X-2-W 104/104-NANNO40	420,94
397-U1587C-46X-3-W 44/44-NANNO42	421,83
397-U1587C-46X-3-W 122/122-NANNO44	422,61
397-U1587C-46X-4-W 81/81-NANNO46	423,69
397-U1587C-46X-5-W 3/3-NANNO48	424,4
397-U1587C-46X-5-W 126/126-NANNO50	425,63
397-U1587C-46X-6-W 85/85-NANNO52	426,71
397-U1587C-46X-6-W 126/126-NANNO54	427,12
397-U1587C-46X-7-W 32/32-NANNO56	427,69

Además, la Figura 15 permite observar también la tendencia de la distribución de las distintas especies en el U1587 a diferentes profundidades; con ello y conociendo la profundidad de cada muestra se puede situar la edad de esta excavación en torno a los 6 Ma.

Sabiendo la profundidad a la que se encuentra cada muestra y mediante la Figura 15 se puede conocer la tasa de sedimentación aproximada de esta zona de la excavación en la que se encuentran las muestras estudiadas. Así, teniendo en cuenta los datos recogidos en la Tabla 1, la Figura 15 demuestra que dicha tasa de sedimentación estaría sobre los 7,76 cm/ky. Además, conociendo la tasa de sedimentación y la profundidad de las muestras, puede calcularse también la edad de diferencia que existe entre cada una de ellas, lo que resulta importante a la hora de asociarlo a los ciclos orbitales.

Para calcular esta diferencia de edad se ha realizado una regla de tres en la que la diferencia de profundidad se considera como centímetros y el resultado como años.

Tabla 2. Diferencia de profundidad y de edad que existe entre cada muestra. Elaboración propia.

Diferencia entre profundidades (m.)	Edad entre muestras (años)
419,26-418,46	10309,28
420,02-419,26	9793,81
420,94-420,02	11855,67
421,83-420,94	11469,72
422,61-421,83	10051,55
423,69-422,61	13917,53
424,4-423,69	9144,48
425,63-424,4	15850,51
426,71-425,63	13917,53
427,12-426,71	5283,5
427,69-427,12	7345

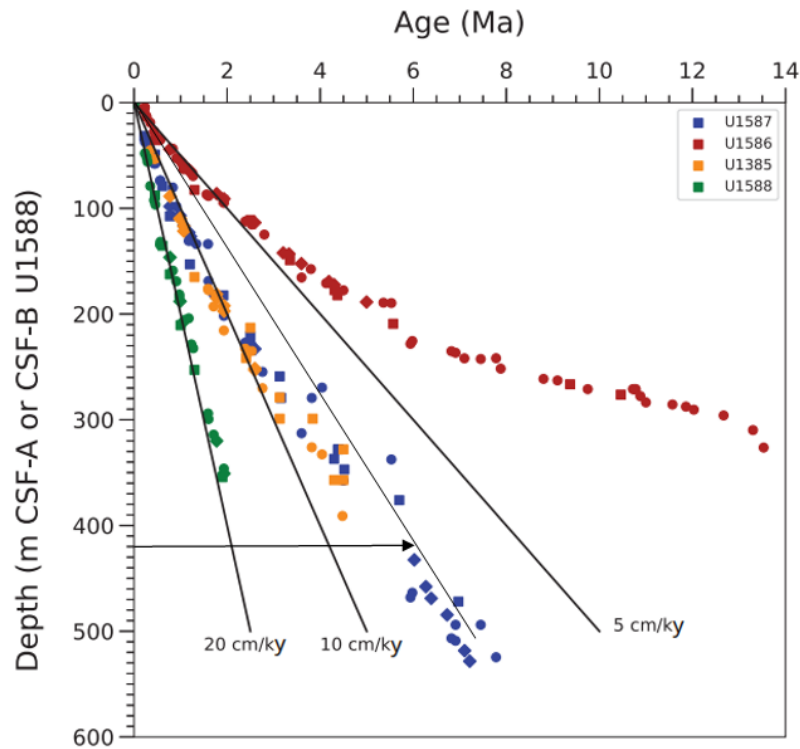


Figura 15. Representación de los puntos en función de la profundidad y edad, mostrando las tasas de sedimentación. Nota: los cuadrados representan los marcadores de foraminíferos planctónicos; los círculos, son marcadores de nanofósiles, y los diamantes son los marcadores magnetoestratigráficos. Fuente: Adaptado de Hodell *et al.*, 2023.

Conociendo la edad aproximada en torno a la cual nos encontramos y los eventos globales de nanofósiles establecidos por Martini (1971) (Figura 16), puede situarse esta excavación entre los siguientes eventos de nanofósiles. Por un lado, NN11B —aparición del *A. primus* hace 7.306 Ma (Bedoya Agudelo *et al.*, 2013)— y por otro, la desaparición de *D. quinquaramus* con una edad de 5.6 Ma (Lancis Sáez, 1998). También se pueden situar las inversiones de polaridad y los subcronos que se produjeron en el tramo en el que nos situamos. En este caso coincidiría con el C3An.1n (6,023–6,272 Ma) y el C3An. 2n (6,386–6,727 Ma) Subcronos.

AGE			GLOBAL NANNOFOSSIL EVENTS	
Ma	Epochs	Stage	Martini, 1971	Okada & Bukry, 1980
1	Pliocene		NN20 <i>P. lacunosa</i>	CN14b
2			NN19	CN14a <i>G. oceanica</i>
3	Pliocene	Piacenzian	NN18 <i>D. brouweri</i>	CN13b
4			NN17 <i>D. pentaradiatus</i>	CN13a <i>G. caribbeanica</i>
5			NN16 <i>D. surculus</i>	CN12d
6		Zanclean	NN15 <i>R. p'umbilicus</i> (>7µm)	CN12b <i>D. tumalis</i>
7			NN14 <i>Amaurolithus</i>	CN12a
8	Late Miocene	Messinian	NN13 <i>D. asymmetricus</i>	CN11b <i>D. tumalis</i>
9			NN12 <i>Cr. cristatus</i>	CN11a <i>D. asymmetricus</i>
10			NN11B <i>D. quinquetramus</i>	CN10c
11			NN11A	CN10b <i>Cr. armatus</i>
12			NN10B <i>D. quinquetramus</i>	CN9b
13	Late Miocene	Tortonian	NN10A <i>R. p'umbilicus</i> (>7µm)	CN9a
14			NN9 <i>D. hamatus</i>	CN8a <i>D. loebli</i> & <i>D. neorectus</i>
15			NN8 <i>D. hamatus</i>	CN7b <i>Ct. calyculus</i>
16			NN7 <i>Ct. coalitus</i>	CN7a
17			NN6	CN6
18	Middle Miocene	Serravalian	NN5	CN5b
19			NN4 <i>D. kugleri</i>	CN5a
20			NN3 <i>S. heteromorphus</i>	CN4
21		Langhian	NN2 <i>H. ampliapertura</i>	CN3
22			NN1 <i>S. belemnus</i>	CN2
23	Early Miocene	Burdigalian	NN1 <i>S. belemnus</i>	CN1c
24			NN1 <i>D. druggii</i>	CN1b <i>Cy. abisectus</i>
25		Aquitainian	NN1	CN1a
26			NN1 <i>S. ciperoensis</i>	
27	Oligocene	Chattian	NN1	

Figura 16. "Zonas bioestratigráficas de nanofósiles de Martini (1971) y Okada y Bukry (1980) del MioPlioceno".
Fuente: Adaptado de Rai et al., 2014, p. 124.

9. METODOLOGÍA

Se ha realizado el análisis de un total de 12 muestras entre las que existe una diferencia de edad de aproximadamente 10.000 años. Estas muestras se prepararon siguiendo el procedimiento basado en el trabajo de Flores y Sierro (1997), el cual se describe a continuación:

1. El sedimento conseguido se separa en una pequeña cantidad y se utiliza un calentador a 50°C para conseguir el secado de la muestra.
2. Se realiza el pesaje de la muestra en seco, aunque esa cantidad varía en función de los nanofósiles y de ciertos parámetros.
3. En cuanto al sedimento más pesado, se introduce dentro de una botella y se le añade agua destilada, entre 10-30 ml. En caso de ser una muestra rica en materia orgánica se puede usar H₂O₂ para obtener una muestra degradada.
4. A través de una micropipeta (100 y 300 pl) se obtiene una parte de lo obtenido en el anterior paso. Esta mezcla se saca de la parte media del recipiente tras esperar un corto período de tiempo, para que así se asienten los áridos y/o partículas de tamaño importante.
5. A continuación, se coloca la muestra en un portaobjetos en el fondo de un disco de Petri de diámetro de entre 40-60 mm, acompañado de una mezcla de destilado 0,05/1 g. Para reducir la tensión superficial se añade agua y “Gelatina Dorada”. El resultado de todo esto se introduce en una micropipeta y se deposita sobre el disco de Petri, a continuación, se extrae el líquido que fue mezclado en repetidas ocasiones hasta que tenga una distribución uniforme.
6. La muestra se coloca durante 12 a 24 horas en una superficie horizontal a una temperatura constante de 20°C. Después se extrae la mezcla —de manera muy lenta para evitar eliminar las partículas sedimentarias— a través de tiras cortas de papel de filtro.
7. Por último, una vez que el disco se ha secado, se prepara un portaobjetos con bálsamo de Canadá, aunque también sirve cualquier otro tipo de montaje que sea adecuado para el índice de refracción de la calcita.

El estudio de las muestras se realizó en dos fases, las cuales se describen a continuación:

En primer lugar, se llevó a cabo el primer conteo con el fin de realizar varias visualizaciones. En ellas se fue contando cada una de las especies hasta llegar a una cantidad superior a 500; en algunos casos con tres visualizaciones resultó suficiente, aunque en otros, se tuvieron que realizar hasta cinco. Las especies que se encontraron fueron: *Reticulofenestra*, *Coccolithus pelagicus*, *Helicosphaera carteri*, *Calcidiscus leptoporus*, *Sphenolithus*, *Discoaster* (*D.variabilis*, *D.pentaradiatus* y *D.brouweri*), *Pontosphaera* y *Syracosphaera*.

Una vez realizado el conteo en cada una de las láminas se procedió a realizar el siguiente cálculo: se dividió la cantidad de la especie de la muestra en cuestión entre el número de observaciones que se hicieron. Asimismo, también se calculó el porcentaje de cada especie en cada lámina, es decir, el valor total de la especie en cada muestra multiplicado por cien y dividido posteriormente entre el total de todos los grupos que se

encontraron en cada lámina en cuestión. Los resultados de estos cálculos se recogen en la Tabla 3, la Tabla 4 y la Tabla 5.

Ya en la segunda fase, se realizó de nuevo otro conteo, pero a diferencia de los anteriores este se centró únicamente en las especies *Calcidiscus leptoporus* y *Discoaster* —para asegurar su número por no ser este muy elevado—, y *Coccolithus pelagicus*, por ser esta una especie que ofrece una gran información.

Otra diferencia de esta fase es que ahora no se buscaba superar la cantidad de 500 especies, sino realizar un máximo de diez visualizaciones hasta contar al menos 5. Una vez alcanzado ese valor no se hicieron ya más búsquedas de esa especie en esa lámina.

Por último, se volvió a calcular el porcentaje de especies por muestra, pero ahora juntando todos los *Reticulofenestra* en una sola categoría, *Coccolithus pelagicus* en otra y *Sphenolithus* con *Discoaster*; las especies restantes se asociaron en conjunto. De esta forma se pueden comparar mejor las diferentes categorías establecidas, ya que pertenecen a ambientes muy característicos. Además, esto también ayuda a localizar los ciclos orbitales. También se calculó la división entre la cantidad total y el número de observaciones, pero esta vez con estos nuevos datos. Los resultados de estos cálculos se recogen en la Tabla 6, la Tabla 7 y la Tabla 8.

Tabla 3. Resultados del cálculo de la división de la cantidad de la especie de la muestra en cuestión (cv) entre el número de observaciones que se hicieron (nv) realizado en la fase 1. Se recogen en esta tabla las especies *Reticulofenestra*, *Coccolithus pelagicus*, *Helicosphaera carteri*, *Calcidiscus leptoporus*. Elaboración propia.

Profundidad (m.)	<i>Reticulofenestra</i> <3 µm cv/nv	<i>Reticulofenestra</i> 3-5 µm cv/nv	<i>Reticulo</i> <i>fenestra</i> >5 µm cv/nv	<i>Coccolithus</i> <i>pelagicus</i> cv/nv	<i>Helicosphaera</i> <i>carteri</i> cv/nv	<i>Calcidiscus</i> <i>leptoporus</i> cv/nv
418,46	174,33	15,33	4,33	0,67	0	2,67
419,26	165	36	9,33	2	0	0,33
420,02	196	29	7,33	1,67	0	0,33
420,94	270,5	23,5	5,5	3	0	0
421,83	219	31,67	9,33	1,33	0	0
422,61	198,33	51,67	13,33	2,33	0	2
423,69	135,5	42,5	13,25	2,5	0	1,5
424,4	159,25	17	1,5	0	0	0
425,63	100	18,8	5,2	2	0	0,6
426,71	193,67	75,67	7	1	0	1,33
427,12	215,5	92,5	14	0	0	2,5
427,69	105,67	105,67	7	3	1	1,67

Tabla 4. Resultados del cálculo de la división de la cantidad de la especie de la muestra en cuestión (cv) entre el número de observaciones que se hicieron (nv) realizado en la fase 1. Se recogen en esta tabla las especies *Sphenolithus*, *Discoaster* (*D.variabilis*, *D.pentaradiatus* y *D.brouweri*), *Pontosphaera* y *Syracosphaera*. Elaboración propia.

Profundidad (m.)	<i>Sphenolithus</i> cv/nv	<i>Discoaster variabilis</i> cv/nv	<i>Discoaster pentaradiatus</i> cv/nv	<i>Discoaster brouweri</i> cv/nv	<i>Pontosphaera</i> cv/nv	<i>Syracosphaera</i> cv/nv
418,46	0,67	0,33	0,33	0	0,33	0
419,26	6,67	1	1	0	0	0
420,02	6,67	0	0,33	0	0	0
420,94	4,5	2	0	0	0	0
421,83	6	2,33	0	0,33	0,33	0,33
422,61	2,67	1,33	0,33	0,33	0,67	0
423,69	7,25	0,5	0	0	0,75	0
424,4	5	0,5	0	0	0,5	0
425,63	6,2	0	0	0	0	0
426,71	5,67	0	0	0	0,33	0
427,12	8,5	0	0	0	1	0
427,69	5,67	2,67	0	0	1	0

Tabla 5. Resultados del cálculo del porcentaje realizado en la fase 1. Se recogen en esta tabla las especies *Reticulofenestra*, *Coccolithus pelagicus*, *Helicosphaera carteri*, *Calcidiscus leptoporus*. Elaboración propia.

Profundidad (m.)	<i>Reticulofenestra</i> <3 µm %	<i>Reticulofenestra</i> 3-5 µm %	<i>Reticulofenestra</i> >5 µm %	<i>Coccolithus pelagicus</i> %	<i>Helicosphaera carteri</i> %	<i>Calcidiscus leptoporus</i> %
418,46	87,60	7,71	2,18	0,33	0	1,34
419,26	74,55	16,27	4,22	0,90	0	0,15
420,02	81,21	12,02	3,04	0,69	0	0,14
420,94	87,54	7,61	1,78	0,97	0	0
421,83	80,91	11,70	3,45	0,49	0	0
422,61	72,65	18,92	4,88	0,85	0	0,73
423,69	66,50	20,86	6,50	1,23	0	0,74
424,4	86,67	9,25	0,82	0	0	0
425,63	75,30	14,16	3,92	1,51	0	0,45
426,71	68,03	26,58	2,46	0,35	0	0,47
427,12	64,52	27,69	4,19	0	0	0,75
427,69	45,29	45,29	3	1,29	0,43	0,71

Tabla 6. Resultados del cálculo de la división de la cantidad de la especie de la muestra en cuestión (cv) entre el número de observaciones que se hicieron (nv) realizado en la fase 2. Se recogen en esta tabla las especies, *Coccolithus pelagicus*, *Calcidiscus leptoporus*, *Discoaster variabilis*, *Discoaster pentaradiatus* y *Discoaster brouweri*. Elaboración propia.

Profundidad (m)	<i>Coccolithus pelagicus</i> cv/nv	<i>Calcidiscus leptoporus</i> cv/nv	<i>Discoaster variabilis</i> cv/nv	<i>Discoaster pentaradiatus</i> cv/nv	<i>Discoaster brouweri</i> cv/nv
418,46	0,83	0,83	0,3	0	0
419,26	1,25	1,67	0,3	0	0
420,02	1,2	1	0,1	0	0
420,94	1	1,5	1,2	0	0
421,83	1,5	0,5	0,86	0	0
422,61	5	1,25	1,25	0	0,1
423,69	2,33	2	0,3	0,1	0
424,4	5	0,1	0,83	0,1	0,1
425,63	0,62	0,5	0,2	0	0
426,71	0,87	0,83	0,3	0	0
427,12	1	1	0,83	0	0
427,69	5	1	1,25	0	0

Tabla 7. Resultados del porcentaje realizado en la fase 2. Se recogen en esta tabla las especies *Sphenolithus*, *Discoaster* (*D.variabilis*, *D.pentaradiatus* y *D.brouweri*), *Pontosphaera* y *Syracosphaera*. Elaboración propia.

Profundidad (m)	<i>Sphenolithus</i> %	<i>Discoaster variabilis</i> %	<i>Discoaster pentaradiatus</i> %	<i>Discoaster brouweri</i> %	<i>Pontosphaera</i> %	<i>Syracosphaera</i> %
418,46	0,33	0,17	0,17	0	0,17	0
419,26	3,01	0,45	0,45	0	0	0
420,02	2,76	0	0,14	0	0	0
420,94	1,46	0,65	0	0	0	0
421,83	2,22	0,86	0	0,12	0,12	0,12
422,61	0,98	0,49	0,12	0,12	0,24	0
423,69	3,56	0,24	0	0	0,37	0
424,4	2,7	0,27	0	0	0,27	0
425,63	4,67	0	0	0	0	0
426,71	1,99	0	0	0	0,12	0
427,12	8,5	0	0	0	1	0
427,69	5,67	2,67	0	0	1	0

Tabla 8. Resultados del porcentaje realizado en la fase 2. Se recogen en esta tabla las especies, *Coccolithus pelagicus*, *Calcidiscus leptoporus*, *Discoaster variabilis*, *Discoaster pentaradiatus* y *Discoaster brouweri*. Elaboración propia.

Profundidad (m)	<i>Reticulofenestra</i> %	<i>Coccolithus pelagicus</i> %	<i>Ca. Leptoporus</i> y <i>Sphenolithus</i> %	Resto%
418,46	97,32	0,84	0,84	1
419,26	95,03	0,75	3,46	0,75
420,02	95,48	0,82	2,88	0,82
420,94	95,84	0,8	2,4	0,96
421,83	95,59	0,74	2,94	0,73
422,61	96,81	0,61	1,72	0,86
423,69	93,86	0,86	4,17	1,10
424,4	95,44	0,67	3,49	0,40
425,63	93,51	0,75	4,98	0,75
426,71	96,17	0,81	2,32	0,70
427,12	94,98	0,74	3,24	1,03
427,69	94,38	0,72	3,17	1,73

10. RESULTADOS

Se han encontrado un total de 8.705 nanofósiles (Tabla 9).

Tabla 9. Cantidad de nanofósiles de cada especie. Elaboración propia.

Especie	Cantidad
<i>Coccolithus pelagicus</i>	66
<i>Reticulofenestra</i>	8302
<i>Helicosphaera carteri</i>	3
<i>Calcidiscus leptoporus</i>	59
<i>Sphenolithus</i>	208
<i>Discoaster</i>	51
<i>Pontosphaera</i>	15
<i>Syracosphaera</i>	1

A la hora de observar la Figura 17, la Figura 18, la Figura 19, la Figura 20 y la Figura 21 se pueden extraer una serie de tendencias en cuanto a la cantidad de nanofósiles estudiados.

Los resultados del primer recuento aportan la siguiente información:

- *Reticulofenestra* (Figura 17): se trata del grupo más abundante por una muy amplia diferencia. Dentro de los tres tamaños que se han estudiado, se pueden distinguir una serie de diferencias: en los que son de un tamaño inferior a las 3 μm —los más abundantes—, se puede observar cómo sus valores aumentan y disminuyen de forma inversa a como lo hace el que tiene un tamaño de 3-5 μm ; esto también pasa con el que tiene mayor tamaño (>5 μm), pero de una manera más abrupta, excepto sobre los 426 y 427 m., donde varía de la misma manera que el de 3 μm .

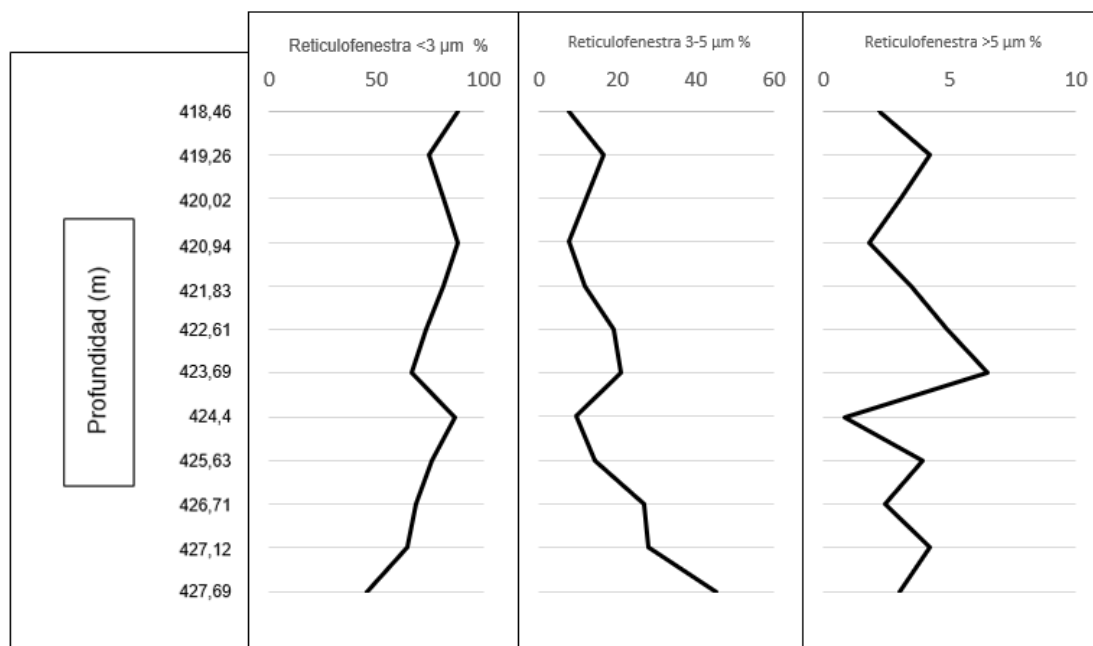


Figura 17. Representación del porcentaje de los diferentes tamaños de Reticulofenestra frente a la profundidad. Elaboración propia.

- *Coccolithus pelagicus*, *Helicosphaera carteri*, *Calcidiscus leptoporus* *Sphenolithus*, *Discoaster* (Figura 18 y Figura 19): *Coccolithus pelagicus* se puede observar un patrón de constante subida y bajada, habiendo dos puntos (cercanos a la base) de gran disminución, los cuales coinciden en el inicio de la columna con una gran disminución de este y con la desaparición del *Helicosphaera carteri*. Otro rasgo que se puede comparar con los *Coccolithus pelagicus* es su cierta diferencia con los *Sphenolithus*, pues hay varios puntos donde mientras uno asciende, el otro presenta una bajada en sus valores, y además existen tramos en donde ambas especies presentan el mismo crecimiento o descenso, pero uno lo hace de una manera más amplia que el otro. También se aprecia esto con *Discoaster* —como consecuencia del tipo de ambiente al que pertenece cada uno, a lo que se hará alusión más adelante—, pero debido a los valores relativamente bajos que esta última especie dio en el primer conteo, esta no aporta un valor demasiado fiable como para que sea tenido lo suficientemente en cuenta. Por otra parte, *Calcidiscus leptoporus* debería dar en un principio unos valores semejantes a los de los *Coccolithus pelagicus*, pero al igual que ocurre con *Discoaster*, la cantidad encontrada en el primer recuento es relativamente baja.

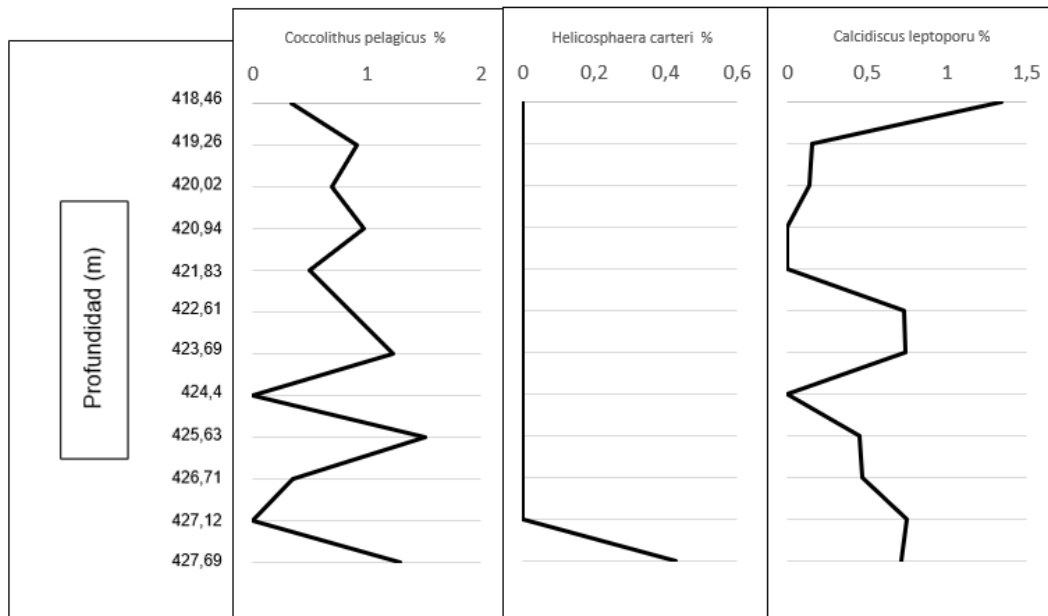


Figura 18. Representación del porcentaje de *Coccolithus pelagicus*, *Helicosphaera carteri* y *Calcidiscus leptoporus* frente a la profundidad. Elaboración propia.

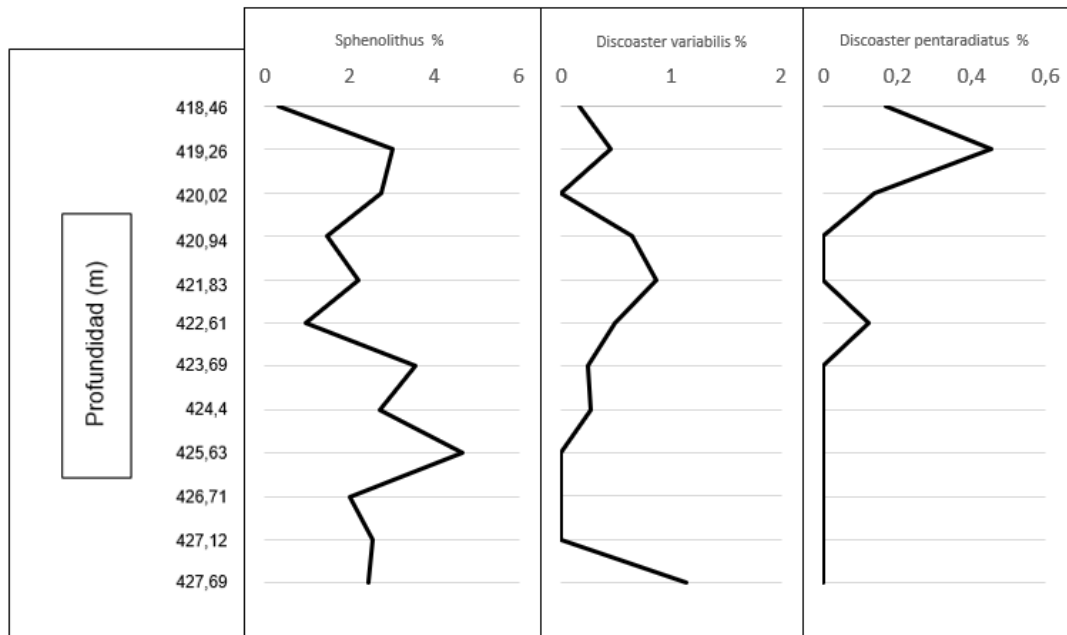


Figura 19. Representación del porcentaje de *Sphenolithus*, *Discoaster variabilis* y *Discoaster pentaradiatus* frente a la profundidad. Elaboración propia.

- *Helicosphaera carteri*, *Syracosphaera* y *Pontosphaera* (Figura 20): En cuanto a los grupos restantes de *Helicosphaera carteri* y *Syracosphaera* cabe destacar que, debido a su escasez, no pueden aportar muchos datos. Únicamente, se observa que la primera de estas especies aparece en la base, pero de ahí en adelante no se vuelve a encontrar. En cuanto a la segunda, esta solo aparece acercándose al techo, pero sin tener una gran importancia. Por último, encontramos la especie *Pontosphaera*, cuyo gráfico refleja que experimenta dos grandes descensos, los cuales tienden a coincidir de manera aproximada en las profundidades en donde se producían los grandes cambios en otros grupos de especies.

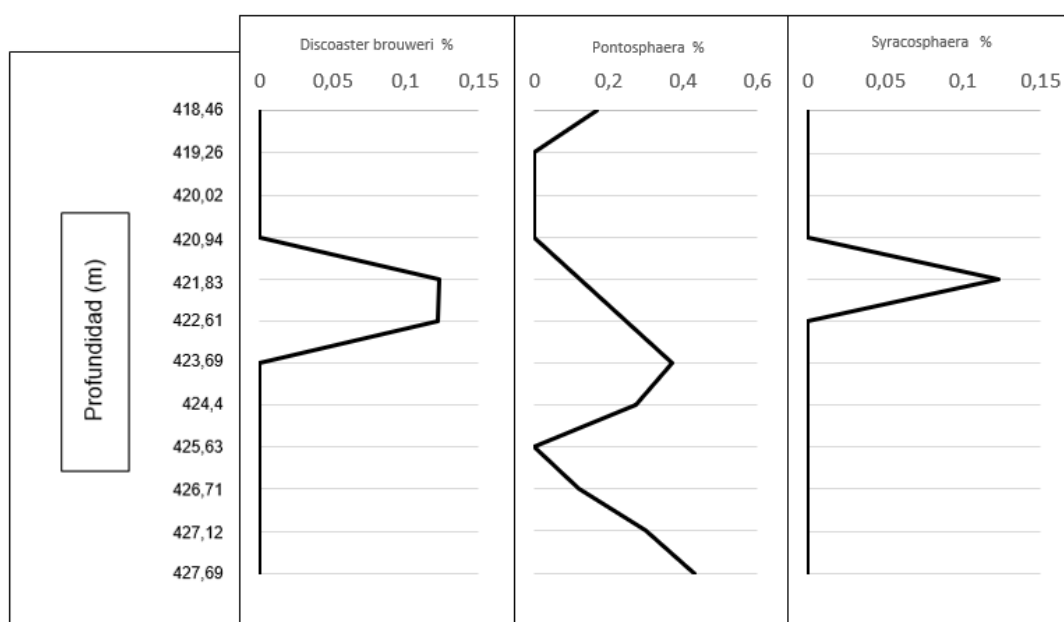


Figura 20. Representación del porcentaje de *Discoaster brouweri*, *Pontosphaera* y *Syracosphaera* frente a la profundidad. Elaboración propia.

Los resultados del segundo recuento aportan la siguiente información:

Uno de los primeros hechos que se observan al ver los cuatro gráficos de la Figura 21 es que en torno a las profundidades 420,94 - 426,71 m. se repite una cierta tendencia propia en cada uno. Estas tendencias coinciden en los mismos puntos, bien en la misma forma o bien de manera inversa. En la gráfica correspondiente a la especie de *Coccolithus pelagicus* se puede ver como en dos puntos comienza con un ligero ascenso, para después continuar con un descenso prolongado hasta ser separado por un pico ascendente, posteriormente se produce de nuevo un largo ascenso que termina con un descenso y un crecimiento. En el caso de *Discoaster* y *Sphenolithus*, la gráfica es diferente a la anterior. Se repite una tendencia de subida y abajada continua que se interrumpe con un crecimiento continuo desde los 420,94 hasta los 419,26 m. de profundidad, donde desciende. Cabe destacar que la forma que adopta la gráfica de estas especies tiende a ser opuesta al de la gráfica de *Coccolithus pelagicus*.

Por otra parte, en el caso de *Reticulofenestra*, cabe señalar que esta especie presenta una gráfica totalmente opuesta a la de las especies *Discoaster* y *Sphenolithus*.

Finalmente, la gráfica del resto de especies tiende a tener una forma más irregular en comparación con las demás, con tendencias a disminuir interrumpidas por ligeros crecimientos.

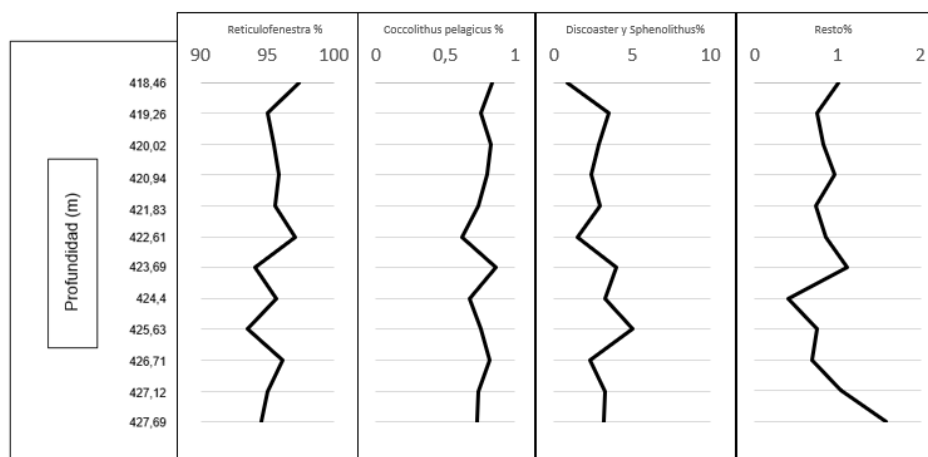


Figura 21. Representación del porcentaje de *Reticulofenestra*, *Coccolithus pelagicus*, *Discoaster* y *Sphenolithus* y el resto de especies agrupados frente a la profundidad. Elaboración propia.

Por último, cabe destacar que la alternancia que se observa en la Tabla 1 entre materiales claros y oscuros y la información que refleja la Figura 21 permitiría establecer una asociación con la aparición de varios ciclos orbitales.

11. DISCUSIÓN

A la hora de analizar las diferentes gráficas de la Figura 21 se observa que la forma de la especie *Reticulofenestra* es totalmente opuesta a la de *Discoaster* y *Sphenolithus*. Esto tiene bastante sentido al saber que el ambiente que favorece a *Reticulofenestra* —más productivo— (J. Flores *et al.*, 2005), difiere bastante con el de las otras dos especies, pertenecientes a un ambiente más cálido y oligotrófico (González, 2015; J. Flores *et al.*, 2005); por lo tanto, es razonable que se hayan obtenido unos resultados tan opuestos entre ambos gráficos.

En el caso de los *Coccolithus pelagicus*, la gráfica de la Figura 21 presenta en su gran mayoría una evolución opuesta a la de *Discoaster* y *Sphenolithus*, a excepción de cuatro zonas concretas. Como se dijo anteriormente, sus ambientes son opuestos, ya que el de la especie *Coccolithus pelagicus* es frío y eutrófico, mientras que en el otro grupo se corresponde a una situación más cálida y oligotrófica (González, 2015; J. Flores *et al.*, 1995; J. Flores *et al.*, 2005). Esto explicaría las diferencias entre ambos y ayudaría a entender cómo se iban alternando las condiciones entre cálidas y frías. No obstante, la baja cantidad de *Coccolithus* hace pensar que en algún momento concreto pudiera llegar a darse un ambiente más frío, pero lo más probable es que se estuvieran produciendo

variaciones entre un ambiente cálido y uno templado, ya que así daría la posibilidad de generar unas condiciones lo suficientemente productivas para encontrar todos esos *Reticulofenestra*, aunque no lo suficientemente frías como para favorecer la existencia de una mayor presencia de *Coccolithus pelagicus* (J. Flores *et al.*, 2005).

Un aspecto que se observa entre la primera y tercera gráfica de la Figura 21 es que a partir de los 420-422 m. hacia el muro hay varios puntos que suben y bajan de manera seguida. Sabiendo que entre cada muestra hay una diferencia media de 10.000 años, se puede establecer que estos cambios se asocian con las variaciones en la precesión orbital, la cual cumple su periodicidad cada 21.000 años (J. Flores *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2017; F. Sierro *et al.*, 2001). Esto a su vez se puede relacionar con el material presente en cada muestra, ya que las zonas de la excavación donde se produce el aumento de *Reticulofenestra* y disminuye *Discoaster* y *Sphenolithus* coincide con la aparición de material oscuro, el cual es rico en arcilla (J. Flores *et al.*, 2005; F. Sierro *et al.*, 2003).

De esta idea se pueden extraer dos situaciones:

Por un lado, que los materiales claros presentan un enriquecimiento en carbonatos debido a la alta presencia de nanofósiles (para que esto se produzca se tiene que dar una situación en la que aumente la productividad). Para hablar de este aumento en la productividad, es necesario tener en cuenta el fenómeno del *upwelling*, pues para que se cree una situación de alta productividad es importante el factor del viento, ya que si existe un mayor predominio de vientos fuertes empujarán la superficie del océano hacia afuera, para reemplazar esa pérdida se genera un ascenso del agua del fondo —rica en nutrientes y más fría que la superficial— y las aguas superficiales se enriquecerán, aumentando así la productividad. Para que este hecho se produzca es necesario estar en una situación donde el ambiente tienda a ser más frío y seco. (J. Flores *et al.*, 2005; F. Sierro *et al.*, 1999, 2003)

Por otro lado, que el resto de las muestras presentan un material oscuro con un alto contenido en arcillas, lo que es indicativo de aportes procedentes desde el continente, único motivo por el cual este material puede estar presente en esta zona. En este caso se da una situación totalmente opuesta a la anterior: la mayor presencia de arcilla es un signo de la disminución en carbonatos, lo que indica que la productividad de esta zona es mucho peor debido a la disminución en el proceso de *upwelling*, lo que supone una menor presencia de vientos más fuertes y frecuentes. Esto puede deberse a la existencia de un ambiente mucho más húmedo y de temperaturas más altas (J. Flores *et al.*, 2005; F. Sierro *et al.*, 1999, 2003).

Con todo esto se puede decir que la alternancia en el color de los materiales puede estar asociada a los ciclos de precesión, pues cada 10.000 años aproximadamente se daría una alternancia entre una situación en la que se darían temperaturas más altas y una menor productividad y otra situación de temperaturas más bajas, pero de mayor productividad (J. Flores *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2017; F. Sierro *et al.*, 2003).

12. CONCLUSIONES

Una vez realizados los diferentes estudios de las diversas muestras analizadas, de la excavación U1587, para elaborar este Trabajo Fin de Grado se puede extraer una serie de conclusiones. A través de la profundidad a la que se encuentran el conjunto de especies de nanofósiles encontrados a lo largo de esta sección del sondeo, data entorno a los 6 Ma. Sabiendo que se sitúa en ese momento del Messiniense superior, se le puede situar dentro de la biozona NN11B, coincidiendo con las inversiones de polaridad y subcronos C3An.1n y C3An. 2n.

Asimismo, otra inclusión importante a resaltar es la importancia de la tasa de sedimentación, que varía en torno a los 7,76 cm/ky, esto ha permitido calcular la diferencia de edad que hay entre cada muestra, que sería de una media aproximadamente de 10.000 años.

Una conclusión que se extrae, del estudio de las diferentes especies con respecto a la diferencia de edad entre cada muestra, es la influencia de los cambios orbitales, los cuales han sido el principal factor controlador de la dinámica del agua superficial. Así, como se señalaba anteriormente y como refleja la Figura 21 a una profundidad mayor a los 420 m., se ha comprobado que se dio una alternancia entre unas condiciones más cálidas y oligotróficas, donde presentan un aumento especies como *Discoaster* y *Sphenolithus*, y unas condiciones más templadas, donde se habría visto más favorecida la especie del *Reticulofenestra*, esta última habría facilitado la generación de unas condiciones más productivas, pudiendo en algún pequeño punto haber alcanzado unas condiciones más frías y eutróficas, debido a la presencia de ciertos aumentos del *Coccolithus pelagicus*, aunque esto no habría tenido mucha relevancia, tal y como refleja la baja cantidad encontrada de esta última especie.

Un rasgo que destacar es el continuo cambio de material que se produce en cada muestra: por un lado, oscuros ricos en arcillas, y por otro, claros con un alto contenido en carbonatos, esto no es solo un indicador de la clara influencia de los ciclos de precesión, sino que también permite explicar la importancia en esta área de los procesos de *upwelling* que, dependiente del ambiente, resulta determinante en la productividad que se da en una determinada zona en un momento concreto.

Finalmente, con todo lo anterior se puede ver una alternancia de 10000 años entre una situación fría, seca, con fuertes vientos que favorecen el proceso de *upwelling* y con ello un aumento en la productividad, resultando todo eso en una mayor cantidad de carbonatos y con ello la aparición del material más claro. En la otra situación se daría lo opuesto, cálido, más húmedo y con menor presencia de vientos, esto afecta al *upwelling* y con ello favoreciendo la aparición de una situación oligotrófica, todo esto acompañado de un mayor aporte de material desde el continente, obteniéndose así el material oscuro rico en arcillas.

13.BIBLIOGRAFÍA

- Abrantes, F. (1991). Increased upwelling off Portugal during the last glaciation: diatom evidence. *Marine Micropaleontology*, 17(3–4), 285–310. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-8398\(91\)90017-Z](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-8398(91)90017-Z)
- Abrantes, F. (2000). 200,000 yr diatom records from Atlantic upwelling sites reveal maximum productivity during LGM and a shift in phytoplankton community structure at 185 000 yr. *Earth and Planetary Science Letters*, 176(1), 7–16. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00312-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00312-X)
- Abrantes, F., & Moita, T. (1999). Water column and recent sediment data on diatoms and coccolithophorids, off Portugal, confirm sediment record of upwelling events. *Oceanologica Acta*, 22, 319–336. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0399-1784\(99\)90007-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0399-1784(99)90007-5)
- Ambar, I., & Howe, M. R. (1979). Observations of the mediterranean outflow—II the deep circulation in the vicinity of the gulf of cadiz. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 26(5), 555–568. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0198-0149\(79\)90096-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0198-0149(79)90096-7)
- Ambar, I., Serra, N., Brogueira, M., Cabeçadas, G., Abrantes, F., Freitas, P., Gonçalves, C., & Gonzalez, N. (2002). Physical, chemical and sedimentological aspects of the Mediterranean outflow off Iberia. *Deep-Sea Research. Part 2. Topical Studies in Oceanography*, 49(19), 4163–4177. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0967-0645\(02\)00148-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0967-0645(02)00148-0)
- Ausín González, B. (2015). *Reconstrucción de la dinámica oceanográfica, productividad de cocolitóforos y salinidad en el Mar Mediterráneo occidental desde el Último Máximo Glacial* [Universidad de Salamanca]. <https://doi.org/10.14201/gredos.128010>
- Backman, J. (1978). Late Miocene-Early Pliocene nannofossil biochronology and biogeography in the Vera Basins SE Spain. *Stockholm Contributions In Geology*, 32, 93–114. [https://www.mikrotax.org/PDFs/Nannotax3/used/nannofossils/Neogene/Backman 1978 StockContGeol Mio-Plio Vera Basin Spain \[§N549\].pdf](https://www.mikrotax.org/PDFs/Nannotax3/used/nannofossils/Neogene/Backman%201978%20StockContGeol%20Mio-Plio%20Vera%20Basin%20Spain%20%5B%5C%24N549%5C%24%5D.pdf)
- Backman, J. (1980). *Miocene-Pliocene nannofossils and sedimentation rates in the Hatton-Rockall Basin, NE Atlantic Ocean* (Issue 36:1) [Almqvist & Wiksell]. <https://pubs.sub.su.se/68.pdf>
- Bartol, M. (2010). *Pontosphaera geminipora* n. sp. and *Pontosphaera desuetoidea* n. sp., new calcareous nannoplankton species from the MiddleMiocene of the Mura Depression (Slovenia, Central Paratethys). *Micropaleontology*, 56(6), 509–516. <https://doi.org/10.47894/mpal.56.6.01>
- Batista, L. F. . (2009). *Cartografia da Deformação Tectónica de Idade Pliocénica e Quaternária na Planície Abissal do Tejo, Talude e Plataforma Continental Adjacentes com Base em Interpretação de Perfis Sísmicos de Reflexão e Batimetria Multifeixe*. https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/3536/1/ulfc055690_tm_Luis_Batista.pdf

- Baumann, K.-H., & Sprengel, C. (2000). Morphological variations of selected coccolith species in a sediment trap north of the Canary Islands. *Journal of Nannoplankton Research*, 22(3), 185–193. <https://doi.org/10.58998/jnr2011>
- Bedoya Agudelo, E. L., Flores, J. A., & Pardo, A. (2013). Nanofósiles calcáreos y bioestratigrafía del Mioceno tardío del sw de la cuenca Tumaco onshore (pacífico colombiano). *Boletín de Geología*, 35(1), 55–66.
- Boesiger, T. M., de Kaenel, E., Bergen, J. A., Browning, E., & Blair, S. A. (2017). Oligocene to Pleistocene taxonomy and stratigraphy of the genus *Helicosphaera* and other placolith taxa in the circum North Atlantic Basin. *Journal of Nannoplankton Research*, 37(2–3), 145–175. <https://doi.org/10.58998/jnr2021>
- Bown, P.R. (1998). *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy* (Paul R. Bown (ed.)). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-4902-0>
- Brambilla, E., Talley, L. D., & Robbins, P. E. (2008). Subpolar mode water in the northeastern Atlantic: 2. Origin and transformation. *Journal Geophysical Research*, 113. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2006JC004>
- Browning, E., Bergen, J. A., Blair, S. A., Boesiger, T. M., & de Kaenel, E. (2017). Late Miocene to Late Pliocene taxonomy and stratigraphy of the genus *Discoaster* in the circum North Atlantic Basin: Gulf of Mexico and ODP Leg 154. *Journal of Nannoplankton Research*, 37(2–3), 189–214. <https://doi.org/10.58998/jnr2037>
- Bukry, D., & Percival, S. F. (1971). New tertiary calcareous nannofossils. *New Tertiary Calcareous Nannofossils*, 8(3).
- Fiúza, A. F. G., Hamann, M., Ambar, I., Díaz del Río, G., González, N., & Cabanas, J. M. (1998). Water masses and their circulation off western Iberia during May 1993. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 45(7), 1127–1160. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(98\)00008-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-0637(98)00008-9)
- Flores, J.-A., Sierro, F. J., & Raffi, I. (1995). Evolution of the Calcareous Nannofossil Assemblage as a Response to the Paleooceanographic Changes in the Eastern Equatorial Pacific Ocean from 4 to 2 Ma (Leg 138, Sites 849 and 852). In *Proceedings of the Ocean Drilling Program, 138 Scientific Results*. Ocean Drilling Program. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.138.109.1995>
- Flores, J. A., & Sierro, F. J. (1997). Revised Technique for Calculation of Calcareous Nannofossil Accumulation Rates. *Micropaleontology*, 43(3), 321. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1485832>
- Flores, José-Abel, Sierro, F. J., Filippelli, G. M., Bárcena, M. Á., Pérez-Folgado, M., Vázquez, A., & Utrilla, R. (2005). Surface water dynamics and phytoplankton communities during deposition of cyclic late Messinian sapropel sequences in the western Mediterranean. *Marine Micropaleontology*, 56(1–2), 50–79. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2005.04.002>
- Geitznauer, K. R., Roche, M. B., & McIntyre, A. (1977). Coccolith biogeography from North Atlantic and Pacific surface sediments. In R. A.T.S (Ed.), *Oceanic Micropaleontology 2* (pp. 973–1008). Academic Press.

- Haynes, R., Barton, E. D., & Pilling, I. (1993). Development, persistence, and variability of upwelling filaments off the Atlantic coast of the Iberian Peninsula. *Journal Geophysical Research*, 98, 22681–22692. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/93JC02016>
- Hodell, D. A., Abrantes, F., & Alvarez Zarikian, C. A. (2023). *Expedition 397 Preliminary Report: Iberian Margin Paleoclimate* (Vol. 397). International Ocean Discovery Program. <https://doi.org/10.14379/iodp.pr.397.2023>
- Howe, R. (2021). Ultrastructure and taxonomy of the family Sphenolithaceae. *Journal of Nannoplankton Research*, 39(1), 29–75. <https://doi.org/10.58998/jnr2124>
- J.R. Young. (1994). Functions of Coccoliths. In A. Winter & W. Siesser (Eds.), *Coccolithophores* (pp. 63–82). Cambridge University Press.
- Lancis Sáez, C. (1998). *El neoplancton calcáreo de las cuencas neógenas orientales de la Cordillera Bética*. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/7944>
- Lozar, F., Violanti, D., Pierre, F. Dela, Bernardi, E., Cavagna, S., Clari, P., Irace, A., Martinetto, E., & Trenkwalder, S. (2010). Calcareous nannofossils and foraminifers herald the Messinian Salinity Crisis: The Pollenzo section (Alba, Cuneo; NW Italy). *Geobios*, 43(1), 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2009.07.002>
- Magill, C. R., Ausín, B., Wenk, P., McIntyre, C., Skinner, L., Martínez-García, A., Hodell, D. A., Haug, G. H., Kenney, W., & Eglinton, T. . (2018). Transient hydrodynamic effects influence organic carbon signatures in marine sediments. *Nature Communications*, 9(1), 4690. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41467-018-06973-w>
- Martínez, M., Lorenzo, E., & Alvarez, A. (2017). Los Ciclos de Milankovitch: Origen, Reconocimiento, Aplicaciones en Cicloestratigrafía y el estudio de Sistemas Petroleros. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(3), 56–65. <https://doi.org/10.26423/rctu.v4i3.281>
- Martini, E. (1971). Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In A. Farinacci (Ed.), *Proceedings of the Second Planktonic Conference Roma 1970* (pp. 739–785). Edizioni Tecnoscienza.
- Peliz, Á., Dubert, J., Santos, A. M. P., Oliveira, P. B., & Le Cann, B. (2005). Winter upper ocean circulation in the Western Iberian Basin—Fronts, Eddies and Poleward Flows: an overview. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 52(4), 621–646. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsr.2004.11.005>
- Rai, J., Malsawma, J., Lalchhanhima, C., Lalnuntluanga, P., Ralte, V. ., & Tiwari, R. . (2014). Nannofossil Biostratigraphy from Bhuban Formation, Mizoram, Northeastern India and its paleoenvironmental interpretations. *Special Publication of the Palaeontological Society of India*, 5, 121–134. https://www.academia.edu/48562399/Nannofossil_Biostratigraphy_from_Bhuban_Fomation_Mizoram_Northeastern_India_and_Its_Palaeoenvironmental_Interpretation

- Ríos, A. F., Pérez, F. F., & Fraga, F. (1992). Water masses in the upper and middle North Atlantic Ocean east of the Azores. *Deep Sea Research Part A: Oceanographic Research Papers*, 39(3), 645–658. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0198-0149\(92\)90093-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0198-0149(92)90093-9)
- Self-Trail, J. M., Powars, D. S., Watkins, D. K., & Wandless, G. A. (2012). Calcareous nannofossil assemblage changes across the Paleocene–Eocene Thermal Maximum: Evidence from a shelf setting. *Marine Micropaleontology*, 92–93, 61–80. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2012.05.003>
- Sierro, F., Flores, J., Francés, G., Vazquez, A., Utrilla, R., Zamarreño, I., Erlenkeuser, H., & Bárcena, M. (2003). Orbitally-controlled oscillations in planktic communities and cyclic changes in western Mediterranean hydrography during the Messinian. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 190, 289–316. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(02\)00611-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0031-0182(02)00611-9)
- Sierro, F., Flores, J., Zamarreño, I., Vázquez, A., Utrilla, R., Francés, G., Hilgen, F., & Krijgsman, W. (1999). Messinian pre-evaporite sapropels and precession-induced oscillations in western Mediterranean climate. *Marine Geology*, 153(1–4), 137–146. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0025-3227\(98\)00085-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0025-3227(98)00085-1)
- Sierro, F., Hilgen, F., Krijgsman, W., & Flores, J. (2001). The Abad composite (SE Spain): a Messinian reference section for the Mediterranean and the APTS. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 168(1–2), 141–169. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(00\)00253-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0031-0182(00)00253-4)
- Sociedad Geológica de España. (2019). *Geología*. Ciclos de Milankovitch. Geología La Rioja 2019 - Caminando Entre Dinosaurios. <https://geologia.es/geologia-2019/la-rioja-2019/#1539510936234-5e6d9e70-e1f2f0e5-1b5a>
- van Aken, H. M. (2000). The hydrography of the mid-latitude Northeast Atlantic Ocean: II: The intermediate water masses. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 47(5), 789–824. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(99\)00112-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-0637(99)00112-0)
- Wade, B. S., & Bown, P. R. (2006). Calcareous nannofossils in extreme environments: The Messinian Salinity Crisis, Polemi Basin, Cyprus. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 233(3–4), 271–286. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.10.007>
- Young, J. R. (1998). Neogene nannofossils. *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*, 225, 265.