

El volcanismo del Plateau Oceánico Caribeño-Colombiano (CLIP) y su impacto paleoambiental durante los eventos OAE3 (Coniaciense-Santonense): correlación directa mediante biocronología de radiolarios

The Caribbean-Colombian Oceanic Plateau (CLIP) volcanism and its paleoclimatic impact during the OAE3 event (Coniacian-Santonian): direct radiolarian biochronologic correlation

P. O. Baumgartner¹, J. Escuder-Viruet², G. Andjic¹, C. Baumgartner-Mora¹

- 1 Institut des Sciences de la Terre, Université de Lausanne, Géopolis, CH-1015 Lausanne. Switzerland (peter.baumgartner@unil.ch; goran.andjic@unil.ch; Claudia.baumgartner@unil.ch)
 2 Instituto Geológico y Minero España, CSIC, C. La Calera 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. España (j.escuder@igme.es)

Resumen: El vulcanismo del Plateau Oceánico Caribeño-Colombiano (o CLIP), ha sido considerado como la causa principal del evento paleoclimático del límite Cenomaniense/Turonense (CTBE~94 Ma), o Evento Anóxico Oceánico 2 (OAE2). Sin embargo, la fase principal del CLIP es más joven (92-87 Ma) y no contribuyó significativamente a la crisis climática del CTBE. El trabajo biocronológico mediante radiolarios de las últimas décadas nos permite una correlación directa entre los sedimentos asociados a los basaltos del CLIP, con secciones pelágicas bien calibradas del Coniaciense-Santonense (C-S, OAE3, 89,8-83,6 Ma) de la región mediterránea. Radiolaritas negras datadas del C-S son interestratificadas o suprayacentes a los basaltos de la fase principal del CLIP (edades ⁴⁰Ar/³⁹Ar de 92-83 Ma) en el Complejo de Nicoya (Costa Rica) y en el Plateau de Azuero (CLIP en Panamá). Sedimentos vulcano-pelágicos, con materia orgánica (OAE3), descansan sobre los basaltos del Terreno de Manzanillo (CLIP al sur de Nicoya) y en el Grupo Tiro (República Dominicana). Mientras la presencia de materia orgánica es limitada a zonas de alta paleofertilidad, el C-S es una época de paleoclima global cálido que favoreció la alteración química terrestre y el secuestro sedimentario periódico de sílice, como consecuencia del vulcanismo CLIP y de otras largas provincias ígneas.

Palabras clave: Correlación CLIP-OAE3, radiolarios, Coniaciense-Santonense

Abstract: *The Caribbean-Colombian Plateau (or CLIP), among other LIPs, has classically been regarded as the principal cause of the late Cenomanian/Turonian Boundary climatic Event (CTBE ~94 Ma), or Oceanic Anoxic event 2 (OAE2). However, the main CLIP phase (92–87 Ma) is too young to have significantly contributed to the climate crisis of the CTBE. Radiolarian biochronological work of the last two decades allows us to correlate radiolarian-bearing sediments interbedded with or directly overlying basalts and intrusives of the CLIP with well-calibrated pelagic sections of the Coniacian–Santonian (OAE3, 89.8 – 83.6 Ma) in the Mediterranean region. Red and black, organic-rich radiolarites dated as Coniacian-Santonian are interbedded with and/or directly overlying basalts of the CLIP phase (Ar/Ar ages of 92-83 Ma) of the Nicoya Complex (Costa Rica) and in the Azuero Plateau (Panama). Radiolarian-dated volcano-pelagic, often organic-rich strata directly overlie CLIP-related basalts in the Manzanillo Terrane (S-Nicoya Peninsula) and in the Tiro Group (Dominican Republic). While the presence of organic matter is restricted to areas of high paleofertility, the Coniacian-Santonian is recognised by us as a period of hot paleoclimate resulting in globally enhanced terrestrial chemical weathering and punctuated silica sequestration in sediments, because of volcanism of the CLIP and other LIPs.*

Key words: Correlation CLIP-OAE3, radiolarians, Coniacian-Santonian.

Introducción

El Plateau Oceánico Caribeño-Colombiano, o “Caribbean Large Igneous Province” (CLIP, Figura 1), entre otras “Large Igneous Provinces” (LIPs), ha sido clásicamente considerado como la causa principal del evento paleoclimático del límite Cenomaniense/Turonense (CTBE), o Evento Anóxico Oceánico 2 (OAE2). El OAE2 ha sido caracterizado mediante edades ²⁰⁶Pb/²³⁸U en zircones individuales entre 94,43 ± 0,14 Ma y 93,92 ± 0,11 Ma en el grupo Yezo de Japón. Sin embargo, la fase principal del CLIP, datada por

muchos autores entre 92,0 ± 9,6 y 87,9 ± 4,2 Ma es demasiado joven para haber contribuido significativamente a la crisis climática de CTBE. La reciente compilación (Figura 2) de las edades del CLIP y otros LIPs (Jiang et al. 2023) muestra una contemporaneidad con el OAE2, pero también establece abundantes edades más jóvenes que el OAE2 coincidiendo con el Coniaciense-Santonense (C-S). La Figura 2 muestra como los picos de edad definidos por las curvas de densidad de probabilidad de Jiang et al (2023) son contemporáneos con picos de la curva $\delta^{13}\text{C}$ de referencia de Jarvis et al. (2006). La formación de

varios LIPs parece haber contribuido al aumento excepcional del $\delta^{13}C$ en el OAE2, como es el caso del vulcanismo del Plateau de Ontong-Java. Por otro lado, la formación del LIP del Ártico Alto (curva azul en la Figura 2) contribuyó a un calentamiento

global rápido en el OAE2 debido a la liberación de grandes cantidades de metano. En el Complejo de Nicoya s.s. de Costa Rica, las edades geocronológicas más antiguas entre 139 y 111 Ma se correlacionan con las edades biocronológicas de radiolarios del Berriasiense/ Valanginiense - Albiense en radiolaritas manganíferas, las cuales son distintas de las radiolaritas hematíticas de la fase principal del CLIP (Baumgartner et al. 2008). Esto indica que Complejo de Nicoya s.s. constituye un fragmento de un plateau pacífico de edad Cretácico Inferior tectónicamente imbricado con la fase volcánica principal del CLIP.

En base a la biocronología de radiolarios realizada durante los últimos 20 años, el objetivo de este trabajo es demostrar que los sedimentos radiolaríticos y vulcano-pelágicos con materia orgánica asociados a los basaltos del CLIP en América Central y el Caribe se correlacionan con secciones pelágicas bien calibradas del C-S, (OAE3; 89,8-83,6 Ma) en el mediterráneo.

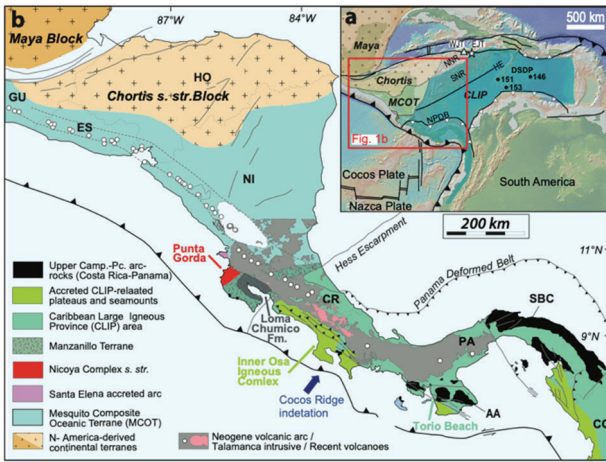


FIGURA 1 (a) Mapa del Caribe con la extensión del CLIP y los sitios DSDP. (b) Mapa de los basamentos principales de América Central con las localidades mencionadas en el texto.

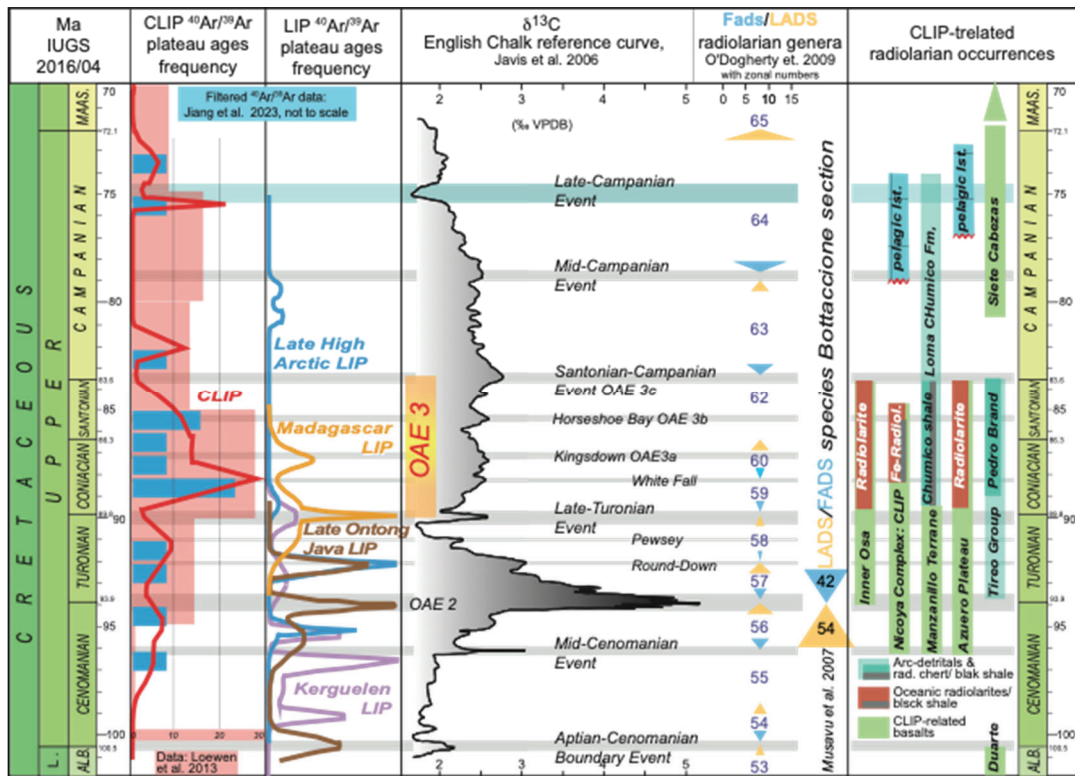


FIGURA 2 Cronoestratigrafía del Cretácico Superior con la estratigrafía de los isotopos de carbono de referencia en el English Chalk (Jarvis et al. 2006). CLIP y otros LIPs: Curvas de densidad probabilística de edades filtradas de erupciones (Jiang et al. 2023). Datos de primera y última aparición (FADS/LADS) de géneros de radiolarios. FADS/LADS de especies, sección de Bottaccione (Gubbio, Umbria). Duración y litologías de radiolaritas relacionadas con el CLIP.

Sedimentos silíceos con materia orgánica del C-S (OAE3) asociados al CLIP

Complejo de Nicoya sensu stricto. En Punta Gorda (Costa Rica; Fig. 1) unos 10 m de radiolaritas verdes y grises interestratificadas con arcillas negras del OAE3 están en contacto con una colada basáltica del CLIP con desarrollo de un borde oscuro de enfriamiento rápido

(Fig. 3). Los basaltos han proporcionado edades $^{40}Ar/^{39}Ar$ entre $92,5 \pm 5,4$ y $88,0 \pm 0,7$ Ma (Turoniense medio a Coniaciense medio), a diferencia de las edades de diques máficos intrusivos de $83,8 \pm 1,1$ y $83,2 \pm 1,3$ Ma (Santoniense/Campaniense). La asociación de los radiolarios *Eostrichomitra perapedhia* y *Hemicryptocapsa polyedra*, junto a *Alievum gallowayi*, *A. paragallowayi*, y *Pseudodictyomitra nakasekoi* indica un

rango de edad Coniaciense-Santoniense basal (Fig. 4), es decir la del OAE3.

Asociaciones de radiolarios muy similares han sido descritas en radiolaritas intercaladas en basaltos de plateau en la Península de Osa (Costa Rica), en el “Inner Osa Igneous Complex” y la Unidad Ganado, así como también en el Plateau de Azuero de Playa Torio en Panamá (Figs. 1, 2).



FIGURA 3. Radiolaritas verde-grises interestratificadas con arcillas negras del OAE3 en contacto con una colada basáltica del CLIP mostrando el desarrollo de un borde oscuro de enfriamiento rápido.

Formación Loma Chumico. La formación aflora en el sur de la Península de Nicoya y en el Bajo Tempisque de Costa Rica (Figs. 1, 2), habiendo sido datada como Coniaciense-Campaniense inferior (Andjic et al. 2019). Se dispone directamente sobre un basamento de tipo CLIP del Terreno Manzanillo, datado por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en 96-89 Ma. La formación incluye un Miembro Berrugate vulcano-pelágico superior, cuyas intercalaciones silíceas han proporcionado una edad C-S. El Miembro Esquistos Loma Chumico inferior que reposa en contacto sedimentario sobre basaltos del CLIP, contiene un promedio de 15% de materia orgánica total, y se relaciona con el OAE3 (Andic et al. 2019, Mansour y Wargreich (2022). La presencia de los radiolarios *Pseudoaulophacus putahensis*, *Pseudodicyomitra crassa* y *Crucella plana* restringen la edad al Coniaciense-Santoniense basal (Fig. 3).

Posibles equivalentes de la Formación Loma Chumico, estudiadas por su potencial de roca madre petrolífera, se encuentran en las perforaciones DSDP 146, 151 y 153, situadas en el Beata Ridge y en las cuencas orientales del Caribe (Fig. 1), donde se perforaron capas ricas en radiolarios y materia orgánica asociadas a coladas de basalto del techo del CLIP. Estos basaltos han dado edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $92,1 \pm 4,7$ y $90,6 \pm 3,2$ (Turonense). Estas edades coinciden con las obtenidas entre 92,4 y 76,9 Ma para las rocas ígneas dragadas en la Cresta de Beata. Los radiolarios no han sido estudiados, pero los foraminíferos planctónicos presentes en areniscas superpuestas a basaltos del CLIP, definen la zona *Marginotruncana schneegansi* de edad Turoniense superior.

Grupo Tireo. En la República Dominicana, los radiolarios presentes en la parte alta del Grupo Tireo (sección de Pedro Brand) se sitúan estratigráficamente entre el Complejo Duarte (fase CLIP del Cretácico inferior) y la Formación Siete Cabezas (fase CLIP del

Campaniense). Hemos atribuido una edad de Turoniense-Coniaciense a estos radiolarios, basado en una correlación con una muestra de los Deva Beds en Rumanía (DV54 atribuida al Coniaciense. Sin embargo, la re-evaluación del rango de edad del foraminífero planctónico *Costillagerina pilula* en las Capas de Deva de Rumanía establece una edad Coniaciense terminal-Santoniense. Considerando su asociación con los radiolarios *Eostichomitra perapethia* y *Hemicryptocapsa polyedra* junto con *Alievum gallowayi*, la sección de Pedro Brand es de edad Coniaciense-Santoniense basal (Fig. 4).

Correlación de series del C-S asociadas al CLIP con series de la región mediterránea

Entre las secciones del Cretácico superior de la región mediterránea, la serie de Gubbio (Umbria, Italia) es la mejor estudiada debido a que permite la correlación entre foraminíferos planctónicos, nanofósiles, magneto-estratigrafía y estratigrafía isotópica de C con la sección de referencia del *English Chalk* (Jarvis et al. 2006). Sin embargo, los radiolarios en Gubbio están preservados moderadamente y ocurren solo en niveles esporádicos en el intervalo Turoniense-Santoniense. Los rangos compilados en la Fig. 4 se basan en secciones calibradas de Grecia, Crimea, Rumanía y Turquía, así como nuestros datos obtenidos en las perforaciones del DSDP-ODP.

Alteración química terrestre y secuestro sedimentario de la sílice amplificado globalmente

El registro sedimentario del C-S está marcado por eventos de secuestro de la sílice biogénica en forma de capas silíceas, espongiolitas o radiolaritas, tanto en facies sedimentarias pelágicas de la plataforma continental (*English Chalk*), como en las de fondos oceánicos, así como también en facies detríticas peri-orogénicas como las Capas de Deva.

Jarvis et al. (2006) demostraron una fuerte correlación entre pequeños picos positivos de la curva $\delta^{13}\text{C}$ y los niveles silíceos en la *English Chalk*. Hemos observado un aumento de capas silíceas con radiolarios coincidiendo con los picos positivos de $\delta^{13}\text{C}$ en la sección de Gubbio.

Al contrario de eventos anóxicos del Cretácico con secuestro de materia orgánica a nivel global, el periodo C-S presenta varios sub-eventos (OAE3a, 3b, 3c, Figura 4; Mansour y Wargreich (2022) con secuestro de materia orgánica limitado a la región atlántica y alrededores, la región del CLIP y otras zonas de alta paleofertilidad. Sin embargo, las pequeñas excursiones positivas del $\delta^{13}\text{C}$ observadas en la *English Chalk* por Jarvis et al. (2006) parecen ser correlacionables globalmente, así como los eventos de secuestro silíceo.

Interpretaciones paleoambientales del C-S

El C-S representa globalmente un periodo con valores de $\delta^{18}\text{O}$ negativos, los cuales aumentan después del mínimo del CTBE. Esto se interpreta como una época de paleoclima caliente y húmedo (“hot-house”),

que progresivamente se enfría hacia el C-S. La compilación de Mansour y Wagerich (2022) demuestra valores bajos ($\delta^{18}\text{O} \sim -4.25\%$) durante el Coniaciense, con un extremo negativo en el límite C-S y un aumento rápido de casi 1‰ para el Santoniense, interpretándose como una tendencia de enfriamiento que se continua durante el Campaniense.

Durante el C-S, el océano estuvo dominado por el secuestro sedimentario de carbonatos (nanofosiles y foraminíferos planctónicos), lo que no permitió grandes variaciones de los valores de $\delta^{13}\text{C}$. Con el aumento del pCO_2 atmosférico ocasionado por las abundantes erupciones volcánicas en el CLIP y en otras LIPs,

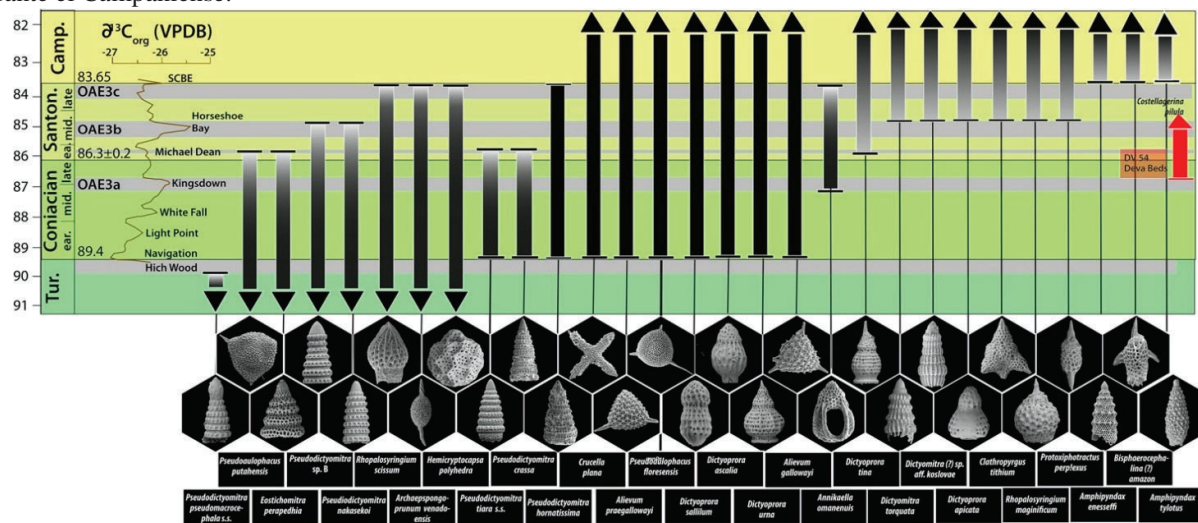


FIGURA 4 Cronoestratigrafía del Coniaciense-Santonense con los principales eventos de $\delta^{13}\text{C}$ globalmente reconocidos y los sub-eventos del OAE3 (según Mansour y Wagerich (2022) y los rangos tentativos de especies seleccionadas de radiolarios. La primera aparición del foraminífero *Costellagerina pilula* determina los rangos de muchas especies presentes en la muestra DV54 (Capas de Deva, Rumania).

aumentó la temperatura global, las precipitaciones y la escorrenfía hídrica, El aumento del pCO_2 causó también el descenso del pH en el agua oceánica.

En contraste con otras OAEs, el pCO_2 no aumentó tanto, ya que estaba controlado por la abundante sedimentación carbonatada y la alteración terrestre de los silicatos. El aumento del aporte fluvial de nutrientes y de dSi (sílice disuelta) al océano fomentó la producción de la sílice biogénica (esponjas, radiolarios, diatomeas) y con ella el secuestro de materia orgánica marina. Por otra parte, la acidificación oceánica disminuyó la solubilidad de la sílice biogénica en las aguas superficiales y aumentó el flujo descendente de sílice particulada, resultando en menos dSi en las aguas superficiales. Este proceso finalmente redujo la producción de sílice biogénica mediante la eliminación de especies oportunistas. El ciclo se terminó con un descenso del secuestro de la materia orgánica, un nuevo dominio de la fábrica de carbonatos y, como consecuencia, terminó la excursión positiva del $\delta^{13}\text{C}$.

Conclusiones

- Las dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de la fase principal del CLIP (92-87 Ma) postdatan la crisis del límite Cenomaniense/Turonense (OA2 ~94 Ma) y se ajustan mejor con el C-S (OAE3, 89.8 – 83.6 Ma).
- Las radiolaritas con materia orgánica del CLIP produjeron radiolarios del C-S (OAE3) y permiten la correlación con secciones del C-S bien calibradas mediante bio- magneto- y químico-estratigrafía.
- Sedimentos hemipelágicos ricos en materia orgánica, testigos del OAE3, se superponen estratigráficamente sobre los basaltos del CLIP y tienen una edad C-S.

- La época del C-S estuvo marcada por varios eventos globales y cíclicos de secuestro sedimentario de sílice biogénica en un paleoclima caliente, que se fue enfriando por la reducción del pCO_2 como consecuencia de la alteración química terrestre y del dominio de la sedimentación oceánica de carbonatos.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por los proyectos SNF (Suiza) No.3 200021_185067/2, y SNF 200020-162670.

Referencias

Andjić, G., Baumgartner, P.O., Baumgartner-Mora, C. (2019): Collision of the Caribbean Large Igneous Province with the Americas: earliest evidence from the forearc of Costa Rica. *Geol. Soc. Am. Bull.* 131 (9-10): 1555–1580

Baumgartner, P. O., Flores, K., Bandini, A. N., Girault, F. y Cruz, D. (2008): Late Triassic to Cretaceous Radiolaria from Nicaragua and Northern Costa Rica The Mesquito Oceanic Terrane. *Ofioliti*, 33, 1-19.

Jarvis, I, Gale, A., Jenkyns, H., Pearce, M. (2006): Secular variation in Late Cretaceous carbon isotopes: a new $\delta^{13}\text{C}$ carbonate reference curve for the Cenomanian–Campanian (99.6–70.6Ma). *Geological Magazine* 143(5):561-608.

Mansour, A., Wagerich, X. (2022): Earth system changes during the cooling greenhouse phase of the Late Cretaceous: Coniacian-Santonian OAE3 subevents and fundamental variations in organic carbon deposition, *Earth-Science Reviews* 229, 104022.