

# Evolución ambiental del estuario del Deba (Geoparque de la Costa Vasca) durante el Holoceno y el Antropoceno

*Environmental evolution of the Deba estuary (Basque Coast Geopark) during the Holocene and Anthropocene*

Naima El bani Altuna<sup>1</sup>, Alejandro Cearreta<sup>2</sup>, María Jesús Irabien<sup>3</sup>, José Gómez Arozamena<sup>4</sup>, Sergio Hernández<sup>2</sup>, Khalid Soualili<sup>2</sup> y Asier Hilario<sup>5</sup>

<sup>1</sup>CAGE — Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate, Department of Geosciences, UiT the Arctic University of Norway, Dramsveien 201, 9037 Tromsø, Noruega. naima.e.altuna@uit.no

<sup>2</sup>Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao. alejandro.cearreta@ehu.eus, sergiohernandezmartin@gmail.com, khalid.soualili@hotmail.fr

<sup>3</sup>Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao. mariajesus.irabien@ehu.eus

<sup>4</sup>Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas, Facultad de Medicina, Universidad de Cantabria, Avenida Herrera Oria s/n, 39011 Santander. jose.gomez@unican.es

<sup>5</sup>Euskal Kostaldeko Geoparkea, Ifar Kalea 4, 20820 Deba. flysch@gipuzkoa.eus

## ABSTRACT

*Benthic foraminiferal assemblages of two long boreholes and one short core drilled in the Deba estuary were studied for environmental interpretation of its sedimentary record. Additional geochemical analyses in the short core, together with the microfaunal and geochemical analysis of eight surface samples along the estuary were also performed. The results allow for the reconstruction of the Deba estuary environment during the Holocene and Anthropocene. The Holocene record is mainly controlled by the relative sea-level rise, whereas the surface samples and the short core exhibit human influence in the most recent sediments.*

**Key-words:** Deba estuary, benthic foraminifera, metals, Holocene, Anthropocene.

## RESUMEN

*Se han estudiado las asociaciones de foraminíferos de dos sondeos largos y uno corto en el estuario del Deba con el fin de realizar la interpretación ambiental de su registro sedimentario. Adicionalmente, se han llevado a cabo análisis geoquímicos en el sondeo corto, y análisis microfaunísticos y geoquímicos en ocho muestras superficiales tomadas a lo largo del estuario. Los resultados han permitido la reconstrucción de sus ambientes sedimentarios durante el Holoceno y el Antropoceno. El registro holoceno está principalmente controlado por el ascenso relativo del nivel marino, mientras que las muestras superficiales y el sondeo corto muestran la influencia antropogénica en los sedimentos más recientes.*

**Palabras clave:** estuario del Deba, foraminíferos bentónicos, metales, Holoceno, Antropoceno.

*Geogaceta*, 66 (2019), 63-66  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 16 de enero de 2019  
Revisión: 25 de abril de 2019  
Aceptación: 24 de mayo de 2019

## Introducción

El calentamiento antropogénico de la atmósfera y los océanos tiene como consecuencia el progresivo ascenso del nivel del mar. Sin embargo, para prever sus impactos sobre las zonas costeras es necesario entender cómo respondieron estos sistemas litorales a los ascensos marinos pretéritos.

Los estuarios son medios litorales cuyos registros sedimentarios permiten el estudio de las variaciones del nivel marino y la posible influencia humana durante el Holoceno y el Antropoceno (*sensu* Zalasiewicz *et al.*, 2015). Los foraminíferos son protoctis-

tas mayoritariamente con un caparazón mineralizado capaz de preservarse en los sedimentos, habitan medios salinos de diferente rango y por su elevada sensibilidad a determinados parámetros ambientales son comúnmente utilizados como herramienta para reconstruir las condiciones deposicionales (Murray, 2006).

El estuario del río Deba, que junto al del Urola forma parte del Geoparque de la Costa Vasca (Gipuzkoa), se extiende en un área de 0,22 km<sup>2</sup> y tiene una longitud de 5,5 km, con una anchura media de 300 m (Villate *et al.*, 1989; Fig. 1). Este trabajo aborda el estudio del registro micropaleon-

tológico de dos sondeos perforados hasta sustrato en sedimentos holocenos con el fin de entender su evolución ambiental como consecuencia del ascenso del nivel marino postglaciar. A su vez, el análisis micropaleontológico y geoquímico de un sondeo corto y ocho muestras superficiales ha permitido la comparación de los registros holoceno y antropoceno.

## Materiales y métodos

Entre 2008 y 2016 se perforaron tres sondeos (diámetro 10 cm) en diferentes partes del estuario (Fig. 1). Los sondeos largos DB-1 (es-

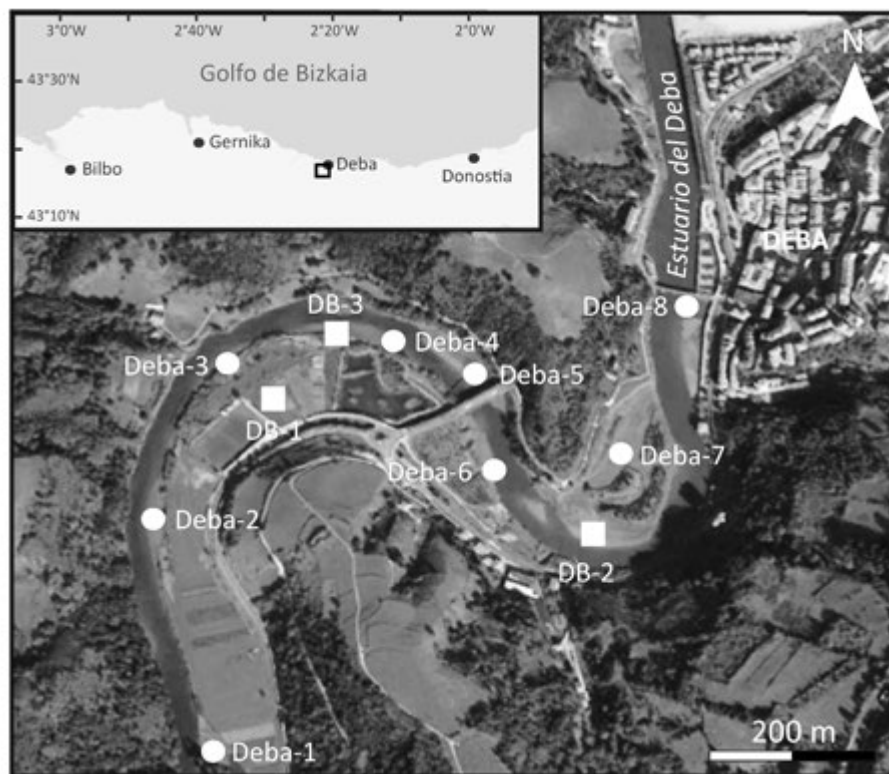


Fig. 1. Localización de los sondeos (cuadrados) y las muestras superficiales (círculos) analizados en el estuario del Deba. Ver figura en color en la web.

Fig. 1. Location of boreholes and core (squares) and surface samples (circles) analysed in the Deba estuary. See color figure in the web.

tuario superior; 43°17'38"N; 2°21'53"W; +5,53 m tomando como referencia el nivel 0 m del Puerto de Bilbao; longitud 29,4 m) y DB-2 (estuario inferior; 43°17'22"N; 2°37"W; +3 m; longitud 21 m) fueron perforados mediante roto-percusión, mientras que el sondeo corto DB-3 (43°17'34"N; 2°21'49"W; +2 m; longitud 0,58 m) fue extraído manualmente. Además, se recogieron ocho muestras superficiales de 1 cm de espesor (80 cm<sup>3</sup>) a lo largo del estuario (Deba-1 en el estuario superior hasta Deba-8 en el estuario inferior) con el fin de estudiar el contenido micropaleontológico y geoquímico en los sedimentos más modernos (Fig. 1).

El estudio de las distintas asociaciones de foraminíferos (viva, o teñida mediante Rosa de Bengala, muerta y enterrada) en la fracción arena (>63µm) de los sedimentos se llevó a cabo utilizando una lupa binocular. En total, se extrajeron 8293 caparazones de foraminíferos bentónicos en las 92 muestras analizadas. Las distintas facies (AFs) se identificaron con base en la presencia, abundancia y dominancia de las diferentes especies de foraminíferos bentónicos y la aparición o no de caparazones alóctonos de origen marino (Cearreta, 1988). Los porcentajes de cada especie dentro de las distintas asocia-

ciones fueron calculadas considerando representativas aquellas muestras que contenían más de 100 caparazones.

El análisis de elementos traza de las muestras superficiales y de las procedentes del sondeo DB-3 (fracción <2 mm) se llevó a cabo mediante ICP-OES (espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente), tras digestión con agua regia (mezcla de ácido nítrico y clorhídrico) a 95°C durante dos horas en Activation Laboratories Ltd. en Ontario (Canadá).

Los sondeos DB-1 y DB-2 se dataron mediante radiocarbono en caparazones de bivalvos y materia orgánica vegetal en Beta Analytic Inc. (USA) utilizando AMS (espectrometría de masas con aceleradores). La datación del sondeo corto DB-3 se realizó a partir de la distribución vertical del radioisótopo de origen natural <sup>210</sup>Pb, que fue analizado mediante espectrometría gamma.

## Resultados y Discusión

### Sondeo largo DB-1

Se diferenciaron 5 AFs en este sondeo (Hernández-Martín, 2013). Sobre el substrato rocoso, la AF5 (datada entre 10150 y

9130 años cal BP) consiste en un intervalo dominado por las especies de foraminíferos *Ammonia tepida* (39%) y *Haynesina germanica* (33%) como formas principales, y *Rosalina irregularis* (8%) y *Criboelphidium williamsoni* (7%) como secundarias. Las especies alóctonas de origen marino llegan a representar hasta el 20% de la asociación (media de 10%). Este intervalo presenta la mayor diversidad de todo el sondeo (9 especies de media) y se interpreta como un ambiente intermareal fangoso con influencia marina. Por encima, en la AF4 (entre 9280 y 9010 años cal BP) *A. tepida* (45%), *H. germanica* (39%) y *C. williamsoni* (12%) son las especies dominantes, siendo la media de caparazones alóctonos muy baja (0,8%). Eventualmente aparecen unos pocos caparazones de foraminíferos planctónicos. Hernández-Martín (2013) interpretó este intervalo como un ambiente intermareal salobre con poca influencia marina. En la siguiente asociación, AF3 (7170 y 6810 años cal BP) las especies dominantes fueron *H. germanica* (49%), *A. tepida* (27%) y *C. williamsoni* (24%). Se encontraron 4 especies de media por muestra. El porcentaje de foraminíferos marinos es anecdótico (0,4%). Aparecen algunos caparazones de foraminíferos planctónicos. Por sus características, esta asociación se interpreta como un medio intermareal salobre más restringido que la asociación anterior. AF2 no contenía ningún foraminífero y su contenido en gravas era mayor que en otras AF, por lo que se interpreta como una zona con influencia de agua dulce que impidió el desarrollo de estos organismos de afinidad salina. Finalmente, en el nivel más alto topográficamente, AF1, se observaron únicamente 3 especies de foraminíferos: *A. tepida* (90%), *H. germanica* (8%) y *Elphidium oceanense* (2%). Estas características indican un medio intermareal salobre muy restringido.

### Sondeo largo DB-2

El sondeo DB-2 muestra 4 asociaciones diferentes de muro a techo con base en su contenido en foraminíferos. La asociación AF4 (con edades entre los 8360 y 8070 años cal BP) es el intervalo con mayor diversidad de todo el sondeo al tener 12 especies de media entre las que dominan *A. tepida* (41%), *H. germanica* (36%) y *C. williamsoni* (12%). Esta AF se interpreta como un ambiente intermareal donde se encuen-

tra la mayor influencia marina del sondeo, a pesar de que los caparazones alóctonos representan un escaso 6% de media. Por encima, la AF3 es una asociación muy pobre en foraminíferos, cuya abundancia absoluta oscila entre 0 y 1 caparazón/gr. Por ello, puede interpretarse como un ambiente intermareal de transición con aguas relativamente más dulces. La siguiente AF2 (edades 1200 y 1100 años cal BP) no contiene ningún foraminífero (salvo una aparición anecdótica de 6 caparazones en una muestra), por lo que se deduce un ambiente de agua dulce que imposibilitó la aparición de estos organismos de afinidad salina. Por último, en la AF1 la abundancia de los caparazones aumenta hacia techo, aunque en todo el nivel aparecen únicamente dos especies aglutinantes: *Trochammina inflata* (59%) y *Entzia macrescens* (41%), típicas de marisma alta, lo que implica un ambiente vegetado altamente restringido y de condiciones mareales extremas.

#### Sondeo corto DB-3

Soualili (2018) diferenció 3 AFs diferentes a pesar de la baja cantidad de foraminíferos encontrados en este sondeo (108 caparazones en total que no permitieron calcular porcentajes de abundancia en cada AF). De -58 a -40 cm, AF3 contiene sólo 3 especies: *E. macrescens* con un total de 19 caparazones, seguida por *T. inflata* con 10 individuos y *A. tepida* que representa una abundancia más reducida de sólo 6 ejemplares. Además, presenta contenidos elevados de metales (máximo de 87 mg/kg para el Pb y 111 para el Ni) con un pico máximo de concentración de Cu (190 mg/kg) a -51/50 cm de profundidad y de Cr y Zn (158 y 877 mg/kg respectivamente) a -41/40 cm. Este intervalo ha sido datado entre los años <1950-1970 CE y se interpreta como un ambiente intermareal de marisma con arenas fangosas. A continuación, de -40 a -24 cm, AF2 es un intervalo con un número mínimo de foraminíferos (un solo caparazón de la especie *E. macrescens*). Las concentraciones de metales disminuyen gradualmente hacia techo. Se trata de un intervalo con una gran influencia de agua dulce que provoca la escasa cantidad de caparazones. Las dataciones radiométricas indican edades comprendidas entre los años 1970-2006 CE. Teniendo en cuenta el perfil de concentraciones de  $^{210}\text{Pb}$  en exceso, que disminuye monótonamente de -24 cm a -

58 cm de profundidad donde prácticamente se alcanzan los valores del  $^{210}\text{Pb}$  en equilibrio, la tasa de sedimentación estimada en AF3 y AF2 es de  $0,46\pm 0,03$  cm/año. Por último, los 24 cm más superficiales del sondeo (AF1) contienen una mayor presencia de caparazones de foraminíferos, con un total de 72 individuos y una mayor abundancia de las especies *T. inflata* (25 caparazones), *H. germanica* (20 individuos), *A. tepida* (13 ejemplares) y *E. macrescens* (9 caparazones). Este intervalo se interpreta como un ambiente intermareal salobre desarrollado durante los últimos 10 años. En lo que respecta a los metales pesados, AF1 presenta los niveles más bajos de todo el sondeo (inferiores a 54, 381, 88, 77 y 79 mg kg<sup>-1</sup> para Pb, Zn, Cu, Ni and Cr respectivamente). Esto coincide con unos valores de  $^{210}\text{Pb}$  en exceso significativamente más bajos que los del tramo inferior, sugiriendo la posibilidad de que una parte de los materiales que constituyen este tramo proceda de los restos depositados por las obras realizadas en esa zona durante los últimos años (construcción de un puente y la perforación de un túnel).

#### Muestras superficiales

En total, se obtuvieron 339 foraminíferos vivos de 8 especies diferentes y 1043 caparazones muertos pertenecientes a 11 taxones. Las asociaciones vivas presentan un número de individuos muy escaso en la parte superior del estuario que se va acrecentando paulatinamente hacia la desembocadura. Respecto a las asociaciones muertas, sólo las muestras Deba-3, 4, 5 y 7 superan los 100 caparazones/80 cm<sup>3</sup>. Las especies dominantes, tanto en las asociaciones vivas como en las muertas, son *A. tepida* y *Cibicides lobatulus*, mientras que *H. germanica* y *E. macrescens* son especies secundarias en las asociaciones muertas. La presencia de foraminíferos de origen marino (por ejemplo, *Cibicides lobatulus* o *Rosalina anomala*) es muy baja (0-0,4%).

La diferencia entre la cantidad de foraminíferos en las asociaciones vivas y muertas puede explicarse por el carácter acumulativo de estas últimas a lo largo del tiempo. Esto sugiere que los foraminíferos vivos no encuentran las condiciones ambientales adecuadas para reproducirse y presentar poblaciones abundantes dentro del estuario, probablemente debido a la

gran influencia del agua dulce de origen fluvial que perjudica el desarrollo de estos organismos de afinidad salina.

El análisis de su contenido geoquímico muestra niveles moderadamente elevados de Pb, Zn, Cu, Ni and Cr en las partes superior y media del estuario, de manera que las máximas concentraciones (104, 65, 519, 76 y 93 mg/kg respectivamente) corresponden a las muestras Deba-3 y 4 (Fig. 1). A partir de ese punto empiezan a disminuir paulatinamente hacia la desembocadura. El estuario del Deba ha sido considerado como un ambiente sometido a una presión humana relativamente elevada, asociada a la existencia de vertidos urbanos e industriales (Tueros *et al.*, 2009), identificados ya desde la zona fluvial (Martínez-Santos *et al.*, 2015).

#### Evolución holocena y antropocena del estuario del Deba

Los sondeos largos DB-1 y DB-2 muestran que la secuencia deposicional está constituida principalmente por asociaciones que, de muro a techo, evolucionan desde ambientes intermareales con influencia marina decreciente a una eventual marisma vegetada, pasando por un periodo de fuerte influencia fluvial. Las dataciones indican que el estuario del Deba comenzó a desarrollarse alrededor de los 9000 años cal BP. Además, en el sondeo DB-2 se puede situar temporalmente el principal evento de colmatación en torno a los 1000 años cal BP, que permitió la formación de una marisma alta en esta zona. El proceso de relleno sedimentario estaría así controlado por los cambios eustáticos del nivel marino y el aporte sedimentario (Cearreta, 1994; Leorri *et al.*, 2013). La secuencia deposicional observable en los sondeos DB-1 y DB-2 concuerda con las tres fases principales de aumento relativo del nivel del mar en la costa vasca durante el Holoceno según García-Artola *et al.* (2018): (1) ascenso rápido cuantificado en unos  $6,3\pm 0,8$  mm/año que tuvo lugar desde los 9000 hasta 7000 años cal BP; (2) reducción considerable de la tasa de elevación hasta los  $0,7\pm 0,5$  mm/año desde los 7000 hasta 4000 años cal BP; y (3) mayor ralentización desde entonces hasta el siglo XX ( $0,5\pm 0,5$  mm/año).

En el sondeo corto DB-3, las diferencias observadas en las características sedimentarias y en la abundancia microfaunística entre las partes inferior y superior parecen

responder a variaciones temporales en la influencia del agua dulce fluvial en esta zona media del estuario. En general, el contenido en foraminíferos del sondeo DB-3 refleja características similares a las asociaciones de foraminíferos presentes en las muestras superficiales. Las características microfaunísticas de este sondeo con escasas caparazones se corresponden bien con el registro más superficial de los sondeos largos DB-1 y DB-2.

Por su parte, la disminución en las concentraciones de metales pesados observada en el sondeo DB-3 parece estar relacionada con el descenso de la contaminación en metales detectado durante los últimos años en este estuario (Tueros *et al.*, 2009; Legorburu *et al.*, 2013). La misma tendencia también fue observada por Goffard (2016) en un sondeo corto procedente del cercano estuario del Urola (Zumaia, Geoparque de la Costa Vasca).

## Conclusiones

Los registros sedimentarios estudiados en el estuario del Deba han sido caracterizados por sus asociaciones de foraminíferos que evolucionan tanto temporalmente (de muro a techo en los sondeos DB-1, DB-2 y DB-3) como espacialmente (dependiendo de su respectiva localización geográfica y en las muestras superficiales). En el estuario superior (DB-1), los ambientes holocenos se transforman desde medios fluviales con intervención marina muy restringida, pasando a ambientes intermareales con influencia marina decreciente, para finalmente dar lugar al desarrollo de un medio intermareal muy restringido o la aparición de una marisma vegetada. En el estuario inferior (DB-2), en cambio, la secuencia deposicional evoluciona desde ambientes intermareales con influencia marina decreciente a una eventual marisma vegetada, pasando por un periodo de fuerte influencia fluvial. A

su vez, el registro corto obtenido en el estuario medio (DB-3) representa los últimos 100 años en los que puede observarse un aporte variable de agua dulce que se refleja en la distinta concentración de foraminíferos. El análisis geoquímico del sondeo DB-3 ha permitido identificar la existencia de episodios de contaminación por metales durante el siglo XX. Asimismo, el análisis micropaleontológico de los sedimentos superficiales ha mostrado que actualmente los foraminíferos vivos no encuentran las condiciones ambientales adecuadas para reproducirse y presentar poblaciones abundantes dentro del estuario, probablemente como consecuencia de la gran influencia fluvial y la baja salinidad de este medio estuarino. Esta situación ha quedado asimismo registrada geológicamente en los sondeos a escala de décadas y centenares de años.

Estas conclusiones representan una contribución al estudio de los cambios holocenos en el nivel marino y al análisis de la actividad antrópica durante las últimas décadas en los estuarios cantábricos. De esta manera, los resultados obtenidos se complementan con otros procedentes de distintos trabajos realizados durante los últimos años en esta zona geográfica con el fin de establecer un modelo general de evolución costera durante el Holoceno y el Antropoceno.

## Agradecimientos

Trabajo financiado por los proyectos Antropicosta (CGL2013-41083-P), Harea-Grupo de Investigación en Geología Litoral (IT976-16) y Estuarios del Geoparque de la Costa Vasca (US13/02). Francisco Fatela (Universidad de Lisboa) y un/a revisor/a anónimo/a mejoraron la versión original de este trabajo con sus indicaciones. Contribución nº 49 de la Unidad de Investigación Geo-Q Zentroa (Laboratorio Joaquín Gómez de Llerena). N. El Bani Altuna ha estado financiada por la

beca no. 223259 para Centros de Excelencia del Consejo de Investigación Noruego.

## Referencias

- Cearreta, A. (1988). *Revista Española de Paleontología* 21, 23-38.
- Cearreta, A. (1994). *Geobios* 27, 271-283.
- García-Artola, A, Stéphan, P., Cearreta, A., Kopp, R.E., Khan, N.S. y Horton, B.P. (2018). *Quaternary Science Reviews* 196, 177-192.
- Goffard, A. (2016). *CKQ-Estudios de Cuaternario* 6, 43-60.
- Hernández Martín, S. (2013). *CKQ-Estudios de Cuaternario* 3, 51-63.
- Legorburu, I., Rodríguez, J.G., Borja, A., Menchaca, I., Solaun, O., Valencia, V., Galparsoro, I. y Larreta, J. (2013). *Marine Pollution Bulletin* 66, 25-38.
- Leorri, E., Cearreta, A., García-Artola, A., Irabien, M.J. y Blake, W.H. (2013). *Ocean and Coastal Management* 77, 3-13.
- Martínez-Santos, M.M., Probst, A., García, J.G. y Romera, E.R. (2015). *Science of the Total Environment* 514, 10-25.
- Murray, J.W. (2006). *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, Cambridge, 426 p.
- Soualili, K. (2018). *CKQ-Estudios de Cuaternario* 8, 147-165.
- Tueros, I., Borja, A., Larreta, J., Rodríguez, J.G., Valencia, V. y Millán, E. (2009). *Marine Pollution Bulletin* 58, 1389-1400.
- Villate, F., Franco, J., Ruiz, A. y Orive, E. (1989). *Kobie (Serie Ciencias Naturales)* XVIII, 159-170.
- Zalasiewicz, J., Waters, C.N., Williams, M., Barnosky, A.D., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, E., Ellis, M.A., Fairchild, I.J., Grinevald, J., Haff, P.K., Hajdas, I., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Odada, E., Poirier, C., Richter, D., Steffen, W., Summerhayes, C., Syvitski, J., Vidas, D., Wagreich, M., Wing, S.L., Wolfe, A.P., Zhisheng, A. y Oreskes, N. (2015). *Quaternary International* 383, 196-203.