

# Cambios en las asociaciones recientes de foraminíferos bentónicos en el estuario del Nalón (Asturias)

*Changes in recent benthic foraminiferal assemblages of the Nalón estuary (Asturias)*

Jon Gardoki<sup>1</sup>, Alejandro Cearreta<sup>1</sup>, María Jesús Irabien<sup>1</sup>, José Gómez-Arozamena<sup>2</sup>, Víctor Villasante-Marcos<sup>3</sup> y Ane García-Artola<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao, España. [jon.gardoqui@ehu.eus](mailto:jon.gardoqui@ehu.eus), [alejandro.cearreta@ehu.eus](mailto:alejandro.cearreta@ehu.eus), [mariajesus.irabien@ehu.eus](mailto:mariajesus.irabien@ehu.eus), [ane.garcia@ehu.eus](mailto:ane.garcia@ehu.eus)

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas, Universidad de Cantabria UC, Avenida Herrera Oria s/n, 39011 Santander, España. [jose.gomez@unican.es](mailto:jose.gomez@unican.es)

<sup>3</sup> Observatorio Geofísico Central, Instituto Geográfico Nacional, Real Observatorio de Madrid, C/Alfonso XII 3, 28014 Madrid. España. [vvillasante@mitma.es](mailto:vvillasante@mitma.es)

## ABSTRACT

The recent sedimentary record of the Nalón estuary was analysed using two intertidal cores and dated by <sup>210</sup>Pb and <sup>137</sup>Cs. The results show for the first time its characteristic benthic foraminiferal assemblages constituted by a total of 46 species, as well as the important changes experienced by these assemblages, in agreement with the environmental magnetism variations, probably due to mining activities since 1850 CE that suggest degraded environmental conditions. These characteristics persisted for decades, even beyond the closure of the coal and mercury mining activities, until the 21<sup>st</sup> century, when a slight environmental regeneration process has been observed.

**Key-words:** benthic foraminifera, radionuclides, environmental magnetism, human impact.

## RESUMEN

Se ha analizado el registro sedimentario reciente del estuario del Nalón a partir de dos sondeos intermareales que han sido datados mediante <sup>210</sup>Pb y <sup>137</sup>Cs. Los resultados muestran por primera vez sus asociaciones características de foraminíferos bentónicos, constituidas por un total de 46 especies, así como los importantes cambios experimentados por estas asociaciones, en consonancia con las variaciones en el magnetismo ambiental, como consecuencia, posiblemente, de las actividades mineras desde 1850 CE que sugieren unas condiciones ambientales deterioradas. Estas malas condiciones persistieron durante décadas, incluso más allá del cese de la minería de mercurio y carbón, hasta el siglo XXI cuando se ha comenzado a observar una leve recuperación ambiental.

**Palabras clave:** foraminíferos bentónicos, radionúclidos, magnetismo ambiental, impacto humano.

Geogaceta, 71 (2022), 55-58  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 15/07/2021  
Fecha de revisión: 29/10/2021  
Fecha de aceptación: 26/11/2021

## Introducción

La explotación de recursos minerales desde el inicio de la Revolución Industrial a finales del siglo XIX en el N de la península ibérica, ha dado lugar a la liberación de diferentes residuos y elementos potencialmente tóxicos observables en los medios sedimentarios litorales mediante sus señales geológicas distintivas (Cearreta *et al.*, 2002).

El estuario del Nalón (Asturias, 43° 32' N; 6° 04' O) presenta un trazado sinuoso, con una longitud de 12,6 km, un área aproximada de 260 ha y una fuerte influencia fluvial (Cabrera Ceñal y Flor, 1993) determinada, parcialmente, por las grandes dimensiones de su cuenca hidrográfica. En ella se localizan los extensos yacimientos de carbón de la Cuenca Carbonífera Central e importantes yacimientos polimetálicos, destacando los de mercurio (Luque y Gutiérrez-Claverol, 2006).

En la parte media del estuario se han desarrollado dos marismas, una en

el margen izquierdo (24 ha) y otra en el derecho (8 ha), donde estudios recientes han confirmado la presencia en los sedimentos de una importante concentración de metales traza (Hg, As y Sb principalmente) asociada a las actividades mineras desarrolladas en la cuenca hidrográfica durante los últimos 150 años (García-Ordiales *et al.*, 2019).

Hasta ahora se desconocían las asociaciones de foraminíferos bentónicos (protistas de caparazón mineralizado muy sensibles a las variaciones ambientales en medios marinos y litorales) presentes en este estuario, así como su respuesta al estrés ambiental provocado por esta actividad minera. En el presente trabajo se ha procedido al estudio de dos sondeos cortos (50 cm de profundidad) desde una perspectiva multidisciplinar (foraminíferos bentónicos, sedimentología, radionúclidos y magnetismo ambiental) con el objetivo de caracterizar las asociaciones de foraminíferos bentónicos y reconstruir la evolución ambiental reciente de este medio estuarino.

## Materiales y métodos

En octubre de 2020 se perforaron 2 sondeos manuales mediante tubos de PVC de 50 cm de longitud (3 réplicas en cada punto de muestreo) en la llanura intermareal media del estuario, en puntos contiguos a los márgenes derecho (sondeo Castillo) e izquierdo (sondeo Muros) (Fig. 1). Para los análisis micropaleontológicos, sedimentológicos, radioisotópicos y de magnetismo los sondeos fueron seccionados longitudinalmente y cortados a intervalos de 1 cm. Las muestras destinadas al estudio micropaleontológico y sedimentológico (64) fueron secadas a 40 °C, lavadas en tamices de 2 mm y 63 µm de luz de malla, y de nuevo secadas a 40 °C. Posteriormente, los microfósiles presentes se concentraron por flotación mediante tricloroetileno. En cada etapa se pesó el sedimento disponible para el cálculo de los porcentajes de arena y fango. La identificación taxonómica fue realizada siguiendo la clasificación de

Loeblich y Tappan (1988) y las posteriores actualizaciones recogidas en World Register of Marine Species (WoRMS, 2021). En cada muestra se extrajeron, siempre que fue posible, un total de 300 caparazones mediante una lupa binocular de luz reflejada. Los resultados para cada especie fueron expresados en porcentaje de su abundancia, mientras que la densidad de foraminíferos fue expresada como el número total de individuos por 15 g de sedimento seco y agrupada en los valores establecidos por García-Artola *et al.* (2016) para los estuarios del N de España.

Las concentraciones de los radionúclidos naturales  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{226}\text{Ra}$  y artificial  $^{137}\text{Cs}$  se analizaron en 88 muestras mediante espectrometría gamma en la Universidad de Cantabria utilizando un detector HPGe. Para la medida de la susceptibilidad magnética, 98 muestras se secaron a 40 °C y se utilizó un equipo Bartington MS3/MS2B. Cada muestra se midió diez veces, calculando la media y la desviación típica.

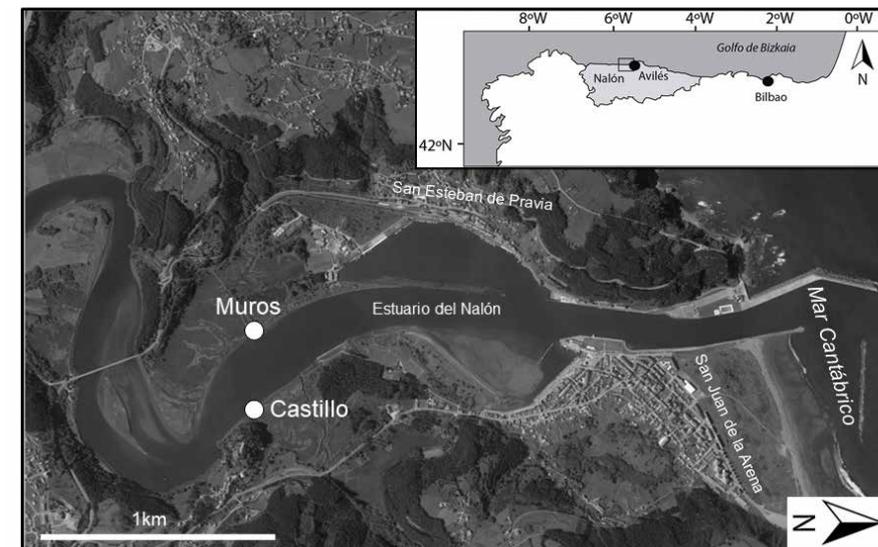
## Resultados y Discusión

Se han extraído un total de 10754 caparazones, agrupados en 46 especies, las cuales han sido ya descritas en otros estuarios de la costa cantábrica (*e.g.*, Cearreta, 1988; Cearreta *et al.*, 2002; Pascual *et al.*, 2009; García-Artola *et al.*, 2016) y que representan una importante diversidad, hasta ahora desconocida. Basándose en la presencia, abundancia y dominancia de los distintos taxones encontrados, se han diferenciado varias zonas denominadas *Intervalos* con características diferentes en los dos sondeos estudiados y cuyos resultados aparecen expresados en la Tabla I.

### Sondeo Castillo

La base del sondeo y las muestras superiores presentan partículas esféricas carbonáceas por lo que, de manera aproximada, nos indicarían que se trata de un registro posterior a 1850 CE (Swindles *et al.*, 2015), mientras que la ausencia de  $^{137}\text{Cs}$  en todos los intervalos del sondeo sugiere que se trata de un registro previo a 1945 CE (Hancock *et al.*, 2014).

El *Castillo-Intervalo 1* (C11; 50-16 cm) presenta un contenido en arena variable y unas densidades de foraminíferos de bajas a muy bajas (Tabla I). Las especies principales son *Haynesina germanica* (Ehrenberg) *Criboelphidium excavatum* (Terquem), *Criboelphidium williamsoni*



**Fig. 1. Localización de los sondeos (círculos) analizados en el estuario del Nalón.**  
 Fig. 1. Location of cores (circles) analysed in the Nalón estuary.

(Haynes) y *Ammonia tepida* (Cushman). A su vez, la susceptibilidad magnética muestra unos valores moderados.

El *Castillo-Intervalo 2* (C12; 16-0 cm) presenta un descenso del contenido en arena y una densidad de foraminíferos muy baja (Tabla I). Desde el punto de vista microfauístico, se registra un ligero descenso en la abundancia de taxones hialinos hacia el techo (*H. germanica*, *A. tepida*, *C. excavatum* y *C. williamsoni*), y un aumento de las especies aglutinantes *Trochammina inflata* (Montagu), *Entzia macrescens* (Brady) y *Miliammina fusca* (Brady). Del mismo modo, la susceptibilidad magnética en este intervalo se incrementa, aunque con un comportamiento fluctuante.

### Sondeo Muros

Mediante la aplicación del modelo *Constant Rate of Supply* (CRS) (Sánchez-Cabeza *et al.*, 2012), a partir del inventario de  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  se ha podido estimar que la base del sondeo corresponde a 1966 CE  $\pm$  16 años.

El *Muros-Intervalo 1* (M11; 50-13 cm; ~1966-2008 CE) está dominado por sedimentos de granulometría fina, y por unas densidades de foraminíferos considerablemente bajas. Esta zona presenta dos secciones (44-30 cm; ~1980-1994 CE) y (19-13 cm; ~2003-2008 CE) con <100 caparazones, siendo las especies que aparecen con mayor frecuencia *H. germanica*, *A. tepida*, *C. excavatum*, *T. inflata*, *E. macrescens* y, en menor medida, *M. fusca*. Paralelamente, la susceptibilidad magnética muestra valores mucho mayores

que en el sondeo Castillo (Tabla I), con un máximo a 40 cm de profundidad y otro máximo relativo en 17 cm, ambos coincidiendo con las zonas de menor abundancia de foraminíferos.

El *Muros-Intervalo 2* (M12; 13-0 cm; ~2008-2020 CE), con un contenido en fango mayoritario, muestra un ligero aumento en la concentración de foraminíferos desde muy baja a moderada (Tabla I), acompañado por un descenso progresivo en la susceptibilidad, con los menores valores de todo el sondeo detectados en los 5 cm superiores. Asimismo, este intervalo, a pesar de presentar elevadas abundancias de los taxones *H. germanica* y *A. tepida*, tiene una importante representación de las especies aglutinantes *M. fusca*, *E. macrescens* y *T. inflata*.

En consecuencia, cada sondeo ha resultado representativo de fases cronológicas diferentes y, por ello, registra etapas ambientales distintas.

### Interpretación ambiental

La asociación del intervalo C11, formada principalmente por especies hialinas salobres, sugiere un ambiente deposicional de llanura intermareal alta restringida (Murray y Hawkins, 1976). Desde el punto de vista sedimentológico, este ambiente intermareal se caracteriza por una mezcla de fango y arena, siendo el componente arenoso ligeramente mayor, y concuerda con las elevadas abundancias de *C. excavatum*, un taxón distribuido preferentemente en sustratos arenosos (Murray, 2006). Asimismo, las bajas abundancias

Sondeos	Castillo				Muros			
	C11 (50-16 cm; Post-1850-Pre-1945 CE)		C12 (16-0 cm; Post-1850-Pre-1945 CE)		M11 (50-13 cm; ~1966-2008 CE)		M12 (13-0 cm; ~2008-2020 CE)	
Tamaño de grano (%) (n = 64)	Arena 53,7 ± 12,8	Fango 46,3 ± 12,8	Arena 34,2 ± 8,7	Fango 65,8 ± 8,7	Arena 11,8 ± 10	Fango 88,2 ± 10	Arena 18,5 ± 12	Fango 81,5 ± 12
Número de especies	7 ± 2		8 ± 1		9 ± 5		11 ± 2	
Densidad de foraminíferos (Nº caparazones/15g)	31 ± 25		42 ± 22		18 ± 18		93 ± 61	
Asociación (%) (n = 64)  (*) Intervalo con <100 caparazones mayoritariamente	<i>H. germanica</i> 51 ± 15,7 <i>C. excavatum</i> 22,5 ± 12,4 <i>A. tepida</i> 12,8 ± 10,4 <i>C. williamsoni</i> 10,6 ± 5,4		<i>H. germanica</i> 59,7 ± 5,2 <i>A. tepida</i> 18,9 ± 6,1 <i>C. williamsoni</i> 7 ± 3,7 <i>C. excavatum</i> 6,6 ± 4,6 <i>T. inflata</i> 2,7 ± 2 <i>E. macrescens</i> 2,6 ± 4,2 <i>M. fusca</i> 2,5 ± 2,4		<i>H. germanica</i> * <i>A. tepida</i> * <i>C. excavatum</i> * <i>T. inflata</i> * <i>E. macrescens</i> * <i>M. fusca</i> *		<i>H. germanica</i> 52,8 ± 7,2 <i>A. tepida</i> 19,8 ± 3,8 <i>T. inflata</i> 8,7 ± 1,8 <i>M. fusca</i> 8,3 ± 9,6 <i>E. macrescens</i> 4,5 ± 2,9	
Taxones marinos (%)	1,1 ± 1,1		0,1 ± 0,1		-		0,3 ± 0,3	
Susceptibilidad magnética (m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> ) (n = 98)	2,7·10 <sup>-7</sup> ± 0,9·10 <sup>-7</sup>		5,3·10 <sup>-7</sup> ± 2,3·10 <sup>-7</sup>		3,5·10 <sup>-6</sup> ± 0,8·10 <sup>-6</sup>		3,0·10 <sup>-6</sup> ± 1,0·10 <sup>-6</sup>	

**Tabla I. Resumen de los datos sedimentológicos, microfaunísticos y de magnetismo ambiental para cada intervalo de los sondeos Castillo y Muros (Estuario del Nalón). El primer valor representa la media mientras que el segundo indica la desviación estándar.**

Table I. Summary of sedimentological, microfaunal and environmental magnetism data of the Castillo and Muros core (Nalón Estuary). The first value represents the median while the second value indicates the standard deviation.

de taxones marinos indican una escasa influencia oceánica dentro del estuario, reflejando el fuerte carácter de los procesos continentales en este medio transicional.

Respecto al intervalo C12, desde un punto de vista ecológico, *M. fusca* es un claro indicador de un ambiente de baja salinidad, mientras que *T. inflata* y *E. macrescens* son especies que habitan en marismas vegetadas inter- y supramareales (Nixon *et al.*, 2009). Por tanto, la dominancia de especies salobres, junto con la presencia de taxones marismesños aglutinantes, el incremento de sedimentos de granulometría más fina y la casi total ausencia de caparazones marinos en C12 indicarían una transición ambiental hacia una zona de marisma baja con, posiblemente, una mayor influencia dulceacuícola (Murray y Hawkins, 1976). Esto es congruente con el carácter fuertemente fluvial de este estuario (Cabrera Ceñal y Flor, 1993).

Las concentraciones generales de foraminíferos desde 1850 CE en el Nalón, son considerablemente más bajas que las encontradas en otros estuarios cantábricos (García-Artola *et al.*, 2016). Es probable que estas bajas densidades de foraminíferos, acompañadas por unos valores moderados de susceptibilidad magnética (y por tanto, en primera aproximación, de contenido en minerales ferromagnéticos), se encuentren determinadas por factores antrópicos,

ya que el estuario del Nalón y su cuenca hidrográfica han estado condicionados por las intensas actividades mineras a lo largo de los últimos 150 años (Luque y Gutiérrez-Claverol, 2006). De acuerdo con García-Ordiales *et al.* (2019), desde 1850 CE se observa un enriquecimiento en metales, particularmente Hg y As, en el registro sedimentario que estaría asociado a las explotaciones mercuríferas de la cuenca que comenzaron, aproximadamente, a partir de esa fecha y que tuvieron su máximo auge entre las décadas de 1960 y 1970 (Luque y Gutiérrez-Claverol, 2006). No obstante, la ausencia total de <sup>137</sup>Cs en el sondeo Castillo indica claramente que no ha registrado la sedimentación posterior a 1945 CE, lo cual podría estar determinado por las recurrentes avenidas fluviales ocurridas en el bajo Nalón, así como por los numerosos dragados realizados en el estuario para facilitar la navegación (García-Ordiales *et al.*, 2020), que podrían haber eliminado la secuencia superior del registro.

Las asociaciones presentes en Muros están compuestas por especies hialinas salobres con una escasa abundancia de taxones marinos que sugieren, de nuevo, un ambiente de llanura intermareal media-alta (Murray y Hawkins, 1976). En este contexto deposicional, las muy bajas densidades de foraminíferos en el intervalo M11 desde 1966 a 2008 CE están acompañadas por valores altos de la susceptibilidad

magnética, indicando una posible contaminación o cambios en las condiciones del estuario de origen antrópico, a pesar de que la minería de mercurio cesara en la década de 1970. Por el contrario, desde 2008 CE hasta la actualidad (M12) el descenso en la susceptibilidad magnética y el ligero incremento en la densidad de foraminíferos, parecen indicar una sensible recuperación ambiental, pero sin llegar aún a alcanzar valores similares a los de áreas estuarinas ambientalmente recuperadas (García-Artola *et al.*, 2016). Las bajas densidades de foraminíferos apuntan a que las condiciones ambientales del estuario todavía se encuentran afectadas. Esta permanencia en un estado ecológico deteriorado es posible que esté parcialmente relacionada con las importantes cantidades de material sedimentario enriquecido en As y Hg que parece seguir fluyendo desde la cuenca hidrográfica hasta el estuario, a pesar del cese de la actividad minera (García-Ordiales *et al.*, 2018).

En consecuencia, debido a que el estuario del Nalón sigue recibiendo un flujo continuo de elementos potencialmente tóxicos, y a que las marismas de su parte media, que son grandes almacenes de estos elementos, podrían ser fácilmente erosionables (García-Ordiales *et al.*, 2019), la vigilancia y la implementación de medidas activas de recuperación ambiental parecen extremadamente necesarias.

## Conclusiones

El registro sedimentario reciente del estuario del Nalón alberga una importante diversidad de foraminíferos bentónicos y permite ampliar los conocimientos sobre la distribución de los foraminíferos en el margen noratlántico ibérico. Este primer estudio de aproximación al estado ecológico del estuario muestra como la microfauna señala un estrés ambiental significativo generado a lo largo del tiempo, coincidente con valores moderados y altos en la susceptibilidad magnética. A pesar de observarse en la actualidad una leve recuperación ambiental, todavía son necesarios análisis profundos sobre su transformación ambiental para determinar con mayor precisión qué procesos de forzamiento ambiental han dado lugar a estos cambios, así como labores exhaustivas de vigilancia y medidas activas para la correcta gestión de sus sedimentos.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos ANTROPICOSTA-2 (RTI2018-095678-B-C21 (MCIU/AEI/FEDER, UE)) y Harea-Geología Litoral (IT976-16). Jon Gardoki ha recibido una beca FPI del Gobierno Vasco (PRE\_2020\_1\_0035). Juan Usera (Universitat de València) y un revisor anónimo mejoraron la versión original

de este manuscrito con sus comentarios.

## Referencias

- Cabrera Ceñal, R. y Flor, G. (1993). *Cuaternario y Geomorfología* 7, 23-34.
- Cearreta, A. (1988). *Revista Española de Paleontología* 3, 23-38.
- Cearreta, A., Irabien, M.J., Ulibarri, I., Yusta, I., Croudace, I.W. y Cundy, A.B. (2002). *Marine Pollution Bulletin* 44, 487-503.
- García-Artola, A., Cearreta, A., Irabien, M.J., Leorri, E., Sánchez-Cabeza, J.A. y Corbett, D.R. (2016). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 171, 66-76.
- García-Ordiales, E., Covelli, E., Rico, J.M., Roqueñí, N., Fontolan, G., Flor-Blanco, G., Cienfuegos, P. y Loredó, J. (2018). *Chemosphere* 198, 281-289.
- García-Ordiales, E., Cienfuegos, P., Roqueñí, N., Covelli, S., Flor-Blanco, G., Fontolan, G. y Loredó, J. (2019). *Environmental Science and Pollution Research* 26, 3115-3128.
- García-Ordiales, E., Flor-Blanco, G., Roqueñí, N., Covelli, S., Cienfuegos, P., Álvarez, R., Fontolan, G. y Loredó, J. (2020). *Marine Geology* 424, 106167.
- Hancock, G.J., Tims, S.G., Fifield, L.K. y Webster, I.T. (2014). The release and persistence of radioactive anthropogenic nuclides. *Geological Society, Special Publications*, 395, 265-281.
- Loeblich, A.R. y Tappan, H. (1988). *Foraminiferal Genera and Their Classification*. Springer US, New York, 2031 p.
- Luque, C. y Gutiérrez-Claverol, M. (2006). *La minería del mercurio en Asturias: Rasgos Históricos*. Eujoa, Mieres, 560 p.
- Murray, J.W. (2006). *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, Cambridge, 426 p.
- Murray, J.W. y Hawkins, A.B. (1976). *Journal of Geological Society of London* 132, 385-398.
- Nixon, F.C., Reinhardt, E.G., Rothaus, R. (2009). *Marine Geology* 257, 41-53.
- Pascual, A., Martínez-García, B., Rodríguez Lázaro, J., Martín-Rubio, M. (2009). *Geogaceta* 47, 45-48.
- Sánchez-Cabeza, J.A. y Ruiz-Fernández, A.C. (2012). En: *Radiocronología de Sedimentos Costeros Utilizando <sup>210</sup>Pb: Modelos, Validación y Aplicaciones* (J.A. Sánchez-Cabeza, M. Díaz-Asencio y A.C. Ruiz-Fernández, Eds.). Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 47-61.
- Swindles, G.T., Watson, E., Turner, E., Galloway, J.M., Hadlari, T., Wheeler, J. y Bacon, K.L. (2015). *Scientific Reports* 5, 10264.
- WoRMS (2021). <http://www.marinespecies.org/foraminifera/> (acceso julio 2021).