

Transformación antrópica reciente de la bahía de Pasaia (Guipúzcoa): análisis multidisciplinar de su registro sedimentario

Recent anthropogenic transformation of the Pasaia bay (Guipuzcoa, N. Spain): multiproxy analysis of its sedimentary record

Alejandro Cearreta¹, María Jesús Irabien² y José Gómez Arozamena³

¹ Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao. alejandro.cearreta@ehu.eus

² Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao. mariajesus.irabien@ehu.eus

³ Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas, Facultad de Medicina, Universidad de Cantabria, Avenida Herrera Oria s/n, 39011 Santander. jose.gomez@unican.es

ABSTRACT

The recent sedimentary record of the Pasaia bay has been analysed using 3 subtidal cores. These contain fine-grained sediments, very high metallic pollutants and very scarce microfauna. They are indicative of negative environmental conditions that have been persistent in this area at least during the last 6 decades. These characteristics are decisive in order to perform an adequate management of this estuarine setting.

Key-words: metals, foraminifera, radionuclides, estuarine sediments, Anthropocene.

RESUMEN

El registro sedimentario reciente en la bahía de Pasaia ha sido estudiado mediante 3 sondeos submareales. Los testigos muestran un sedimento de grano fino, unos valores muy elevados de contaminantes metálicos y una presencia muy escasa de microfauna, sugiriendo malas condiciones ambientales que han sido persistentes durante al menos las últimas 6 décadas. Estas circunstancias son decisivas para desarrollar una adecuada gestión de este medio estuarino.

Palabras clave: metales, foraminíferos, radioisótopos, sedimentos estuarinos, Antropoceno.

Geogaceta, 64 (2018), 107-110
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 13 de febrero de 2018
Revisión: 23 de marzo de 2018
Aceptación: 25 de abril de 2018

Introducción

La bahía de Pasaia (Guipúzcoa) es el estuario del río Oiartzun. Este río tiene 18,5 km de longitud y discurre entre el Parque Natural de Peñas de Aia (afloramiento granítico a 837 m de altitud) y la bahía, con un importante contraste altimétrico. Su cuenca ocupa una superficie de 87 km² en una dirección general NO-SE. El río aporta un caudal medio anual de 4,8 m³ s⁻¹ (Montero *et al.*, 2013). La bahía presenta una morfología alargada y una bocana rocosa y estrecha de acceso al mar de 1,2 km de longitud y 80-120 m de anchura (Fig. 1). Su longitud interior es de 3 km y muestra una superficie total de 100 ha, con una máxima carrera de mareas semidiurnas de 4,6 m.

La bahía de Pasaia comenzó a transformarse en puerto a partir del año 1553 con la construcción de sus primeros muelles. En el siglo XVI era considerado el puerto natural

más abrigado de la costa cantábrica y el más adecuado para pertrechar las campañas balleneras que se habían iniciado en el siglo XII y duraron hasta el siglo XVIII. Entonces el problema más importante del puerto era su progresivo encenagamiento y ya en 1843 el escritor Víctor Hugo mencionó cómo la mitad de la bahía quedaba en seco durante la marea baja (Fig. 1). Hasta mediados del siglo XIX los dominios estuarinos habían sido ocupados principalmente con fines agrícolas (Reizabal *et al.*, 1987) pero a partir de 1860 comenzaron las obras portuarias de construcción de dársenas, muelles, carreteras, ferrocarriles y un denso entramado urbano que dieron lugar a su configuración actual y la pérdida completa de sus características originales (Fig. 1). El dragado sistemático de la bahía comenzó en 1934 hasta convertirla en un ambiente completamente submareal con una profundidad media de 10 m (Escudero, 2009).

Actualmente Pasaia, a pesar de su pequeño tamaño, es el segundo puerto comercial del País Vasco y está dedicado principalmente al transporte de chatarra metálica, productos siderúrgicos y vehículos. Hasta 1996 recibía directamente las descargas domésticas de unas 90 000 personas asentadas en los municipios circundantes. Dentro de la bahía se localizan diversos astilleros y una central térmica de carbón, además de una papelera en sus inmediaciones. El resultado de todas estas actividades es un medio costero profundamente transformado con una importante contaminación de sus aguas y sedimentos.

A partir de los trabajos científicos iniciados en 1981, diversos autores han destacado que la bahía de Pasaia está caracterizada por: a) un elevado tiempo de residencia de sus aguas, desde semanas hasta más de 2 meses, debido a una limitada circulación estuarina (Montero *et al.*,

2013); b) una sedimentación de grano fino con abundante materia orgánica (Legorburu y Cantón, 1991); c) una gran concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos en sus sedimentos (PAHs, PCBs, compuestos orgánicos de Sn, y metales como Pb, Zn, Cu, Cd y Hg) debido a distintas actividades industriales y mineras en su cuenca fluvial (Legorburu y Cantón, 1991; Belzunce *et al.*, 2004); y d) unos importantes efectos tóxicos sobre la biota de estos contaminantes (Rodríguez *et al.*, 2010; Vidal-Liñán *et al.*, 2014).

Los primeros trabajos geológicos en la bahía de Pasaia fueron realizados por Gómez de Larena (1950) quien, a partir del estudio de sondeos portuarios, identificó la presencia de gravas fluviales graníticas sobre el sustrato rocoso carbonatado hasta los 25 m de profundidad, seguidas de una secuencia cuaternaria fango-arenosa depositada por la inundación marina de la bahía. Santana (1966) analizó otros sondeos efectuados durante la ampliación del puerto, reconstruyó el trazado del valle fluvial pre-Holoceno e identificó una serie de canales y depresiones modeladas sobre el sustrato. Además, describió los materiales holocenos de su secuencia sedimentaria transgresiva. Edeso (2006) mencionó la rápida colmatación del estuario debido a la actividad fluvial que provocó el traslado de los astilleros de Errenteria hacia la bahía y la desaparición de su puerto en el siglo XIX. Por último, Pérez-Herrera (2014) analizó los microfósiles (foraminíferos bentónicos y polen) de 2 sondeos (L1 y P9) perforados hasta el sustrato en la zona sureste de la bahía (Fig. 1), mostrando cómo la sedimentación estuarina comenzó en esta zona a partir de 7900 años cal BP. El análisis geoquímico del sondeo P9 (Irabien *et al.*, 2015) identificó un incremento en las concentraciones de Pb alrededor de 1900 años cal BP atribuido al drenaje fluvial de materiales enriquecidos por este metal en la cabecera de la cuenca, asociados a la explotación de galena argentífera durante la época romana.

Este trabajo incluye la utilización de indicadores geoquímicos (metales) y microfaunísticos (foraminíferos bentónicos) para el análisis de 3 sondeos submareales con el fin de examinar la situación reciente de contaminación y transformación ambiental de la bahía de Pasaia. Se han realizado también determinaciones de radionúclidos de vida corta con el fin de determinar las tasas de sedimentación y la edad de un sondeo,

estableciendo así una cronología de las condiciones ambientales registradas.

Materiales y Métodos

En septiembre de 2015 se perforaron 3 sondeos (2 réplicas de cada sondeo) en la bahía de Pasaia mediante un muestreador *hammer corer* operado por buceadores. Los

lugares de muestreo fueron seleccionados con el fin de caracterizar distintas zonas de este medio submareal y su profundidad osciló entre 8,0 y 9,5 m. Se muestran los resultados de los sondeos PAS1 (43°19'13,8"N, 1°54'39,2"W, longitud 48 cm), PAS2 (43°19'24,0"N, 1°54'20,4"W, longitud 59 cm) y PAS3 (43°19'19,3"N, 1°54'10,2"W, longitud 32 cm; Fig. 1). Los testigos fueron

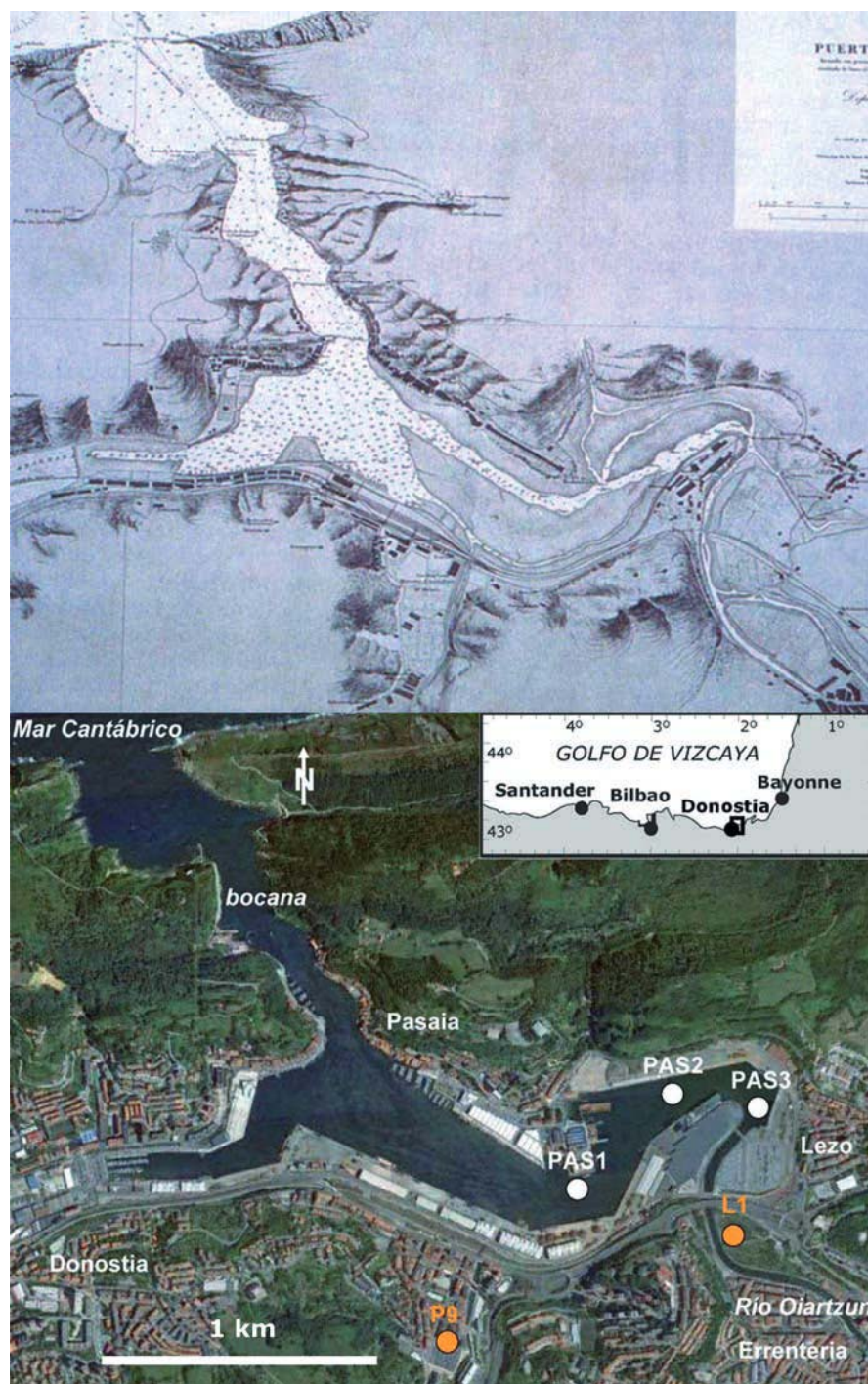


Fig. 1.- Mapa de la bahía de Pasaia en 1863 (arriba); Localización de los sondeos estudiados en la bahía de Pasaia: submareales en color blanco y holocenos en color naranja (abajo). Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Map of the Pasaia bay in 1863 (above); Location of the cores studied in the Pasaia bay: subtidal cores in white colour and Holocene cores in orange colour (below). See colour figure in the web.

radiografiados en el hospital de Basurto (Bilbao) en febrero 2016 y estaban formados por fangos oscuros con muy poca arena.

En el laboratorio, los tubos de sondeo fueron abiertos longitudinalmente y se tomaron muestras cada centímetro con el fin de analizar su contenido en los diferentes indicadores.

Los sedimentos destinados al estudio geoquímico se recogieron con una espátula de plástico. Tras su secado y tamizado en el laboratorio se procedió a la molienda en mortero de ágata de la fracción <2 mm. Estas muestras pulverizadas se enviaron a Activation Laboratories Ltd. (Ontario, Canadá) donde se analizaron mediante ICP-MS tras ataque con agua regia. Los resultados se presentan en mg/kg.

Para su análisis microfaunístico, cada muestra fue inicialmente secada en una estufa a 40° C, pesada (media 30 g) y tamizada en húmedo (mallas 2 mm y 63 micras). El material arenoso obtenido fue secado de nuevo y concentrado en foraminíferos en una campana de gases mediante flotación con tricloroetileno. Donde fue posible, se extrajeron unos 300 caparazones por muestra, y en el caso de aquellas con un número menor fueron extraídos todos los ejemplares existentes y estudiados bajo una lupa estereoscópica binocular de luz reflejada. Sólo en las asociaciones con más de 100 caparazones se calcularon numéricamente la abundancia relativa de especies y el porcentaje de caparazones estuarinos y marinos. En los testigos se han diferenciado posibles intervalos de profundidad (IP) basados en la presencia, abundancia y dominancia de los taxones. En total, se extrajeron más de 7 450 ejemplares de foraminíferos bentónicos en las 70 muestras analizadas, que se clasificaron en 63 especies.

Se utilizó el radioisótopo natural Pb-210 para datar los sedimentos del sondeo PAS2. Una vez secadas, las muestras se tamizaron y envasaron en recipientes cilíndricos herméticos. Se almacenaron durante 30 días hasta alcanzar el equilibrio radioactivo entre el Ra-226, el Rn-222 y los descendientes de este último. Se midieron las concentraciones de la actividad de Pb-210 total y de Ra-226, y de la diferencia entre ambos se obtuvo el Pb-210^{exceso}. En las mismas muestras se midieron las concentraciones del radioisótopo artificial Cs-137 con el fin de contrastar los resultados de ambos métodos. Las muestras se

analizaron por espectrometría gamma utilizando un detector de Ge HP marca Canberra.

Resultados

Todos los sedimentos estudiados presentan contenidos en metales muy superiores a los propuestos como fondo regional por Rodríguez *et al.* (2006). Los más elevados se encuentran en el sondeo PAS1 (n: 24): Pb (mediana: 521; rango: 275-1600), Zn (3740; 1450->10000), Cu (617; 236-4490) y Cd (3,7; 1,8-26,3). Su distribución vertical es irregular, destacando la presencia de varios picos muy pronunciados a distintas profundidades. En el sondeo PAS2 se observan algunos cambios con la profundidad. Por debajo de los 40 cm se alcanzan valores (n: 8) de Pb (306; 218-379), Zn (1525; 1260-1810), Cu (78; 58-109) y Cd (3,0; 2,6-4,5). En los materiales suprayacentes (n: 22): Pb (238; 184-274), Zn (1225; 1020-1320), Cu (105; 73-141) y Cd (2,6; 2,0-3,1). La reducción hacia techo en las concentraciones de Pb, Zn y Cd está acompañada de un aumento en los contenidos de Cu. Por último, los resultados del sondeo PAS3 (n: 16), con un perfil irregular, son muy similares a los obtenidos en la parte alta de PAS2: Pb (216; 189-250), Zn (1135; 1020-1240), Cu (91; 68-146) y Cd (2,8; 2,1-4,2).

Desde el punto vista microfaunístico, el sondeo PAS1 muestra 2 intervalos de profundidad (IP). Desde 48 a 31 cm, IP1 se caracteriza por un contenido muy bajo en foraminíferos (media 50 caparazones/15 g de muestra original) y arena (media 13%), y un número moderado de especies (media 18). Casi la mitad de las muestras no alcanzaron los 100 caparazones. La asociación es una mezcla de taxones marinos y estuarinos donde son dominantes *Quinqueloculina seminula* (Linneo) (28,5%) y *Bulimina gibba* Fornasini (15,4%), junto con *Bolivina spathulata* (Williamson) (9%), *Ammonia tepida* (Cushman) (8,6%), *Rosalina irregularis* (Rhumbler) (8,1%) y *Bolivina britannica* MacFadyen (8,1%). Por encima, el intervalo IP2 se presenta en los 31 cm más superficiales, con un contenido similar de arena (15%) pero un mayor número de caparazones (192) y de especies (25). Todas las muestras presentaron más de 100 caparazones. Las especies marinas están muy presentes (37%) y la asociación está dominada por *A. tepida* (44,1%), *Q. seminula* (11,8%) y *B. gibba* (9,6%).

Por su parte, el sondeo PAS2 muestra un bajo contenido en arena (25%) y extremadamente bajo en caparazones (13) y especies (6) de foraminíferos. Sólo 2 muestras contenían más de 100 caparazones. En éstas, las especies mayoritarias son estuarinas (85,7%) y fueron *Q. seminula* (47,6%) y *A. tepida* (32,7%).

Finalmente, el sondeo PAS3 también es homogéneo en sus 32 cm y está caracterizado por un contenido muy bajo en arena (12%) y extremadamente bajo en caparazones (7) y especies (4) de foraminíferos. Ninguna muestra tenía 100 caparazones. Las formas más frecuentes en el testigo son *A. tepida* y *B. spathulata*.

Los sondeos PAS2 y PAS3 presentaron asimismo tecamebas (protistas, en su mayoría de agua dulce, y de caparazones proteínicos, aglutinados o mineralizados) y fragmentos de materia vegetal muy abundantes a lo largo de los testigos.

Por lo que respecta a la datación, en el sondeo PAS2 se ha analizado la variación en la concentración de la actividad de Pb-210^{exceso} con la profundidad y se han identificado dos secciones claramente diferenciadas. La primera se corresponde con los 20 cm superiores del testigo donde la concentración de Pb-210^{exceso} permanece prácticamente constante. La formación de esta capa homogénea, denominada SML (*Surficial Mixing Layer*), puede ser debida a diferentes procesos de mezcla y dilución del flujo de Pb-210 provocados por la bioturbación o el impacto de fenómenos ambientales o antrópicos en los procesos de sedimentación en ambientes costeros (Díaz-Asencio *et al.*, 2016). En la segunda sección, por debajo de esta capa y hasta la base del testigo, se ha observado que la concentración de Pb-210^{exceso} decrece exponencialmente con la profundidad, indicando una sedimentación regular y una tasa de acumulación másica constante.

Para la interpretación del perfil de Pb-210^{exceso} obtenido, se ha determinado la tasa media de acumulación másica aplicando a la segunda sección (debajo de la SML) el modelo denominado CF:CS, basado en un flujo del Pb-210 al sedimento y una tasa de acumulación másica constantes. Con este dato, y considerando a la SML constante en el tiempo, la edad obtenida para la base de dicha SML es de 15±2 años (año 2000). La tasa de sedimentación derivada del mismo modelo en la sección inferior es de 0,93±0,10 cm/año, por lo que la base del testigo se depositó en el año 1958.

La concentración de la actividad de los radionúclidos Ra-226, que se corresponde con el Pb-210^{soportado} Th-232 y K-40 permanece prácticamente constante a lo largo de todo el testigo, indicando que la composición y el origen probable de los sedimentos depositados son similares.

Discusión

En conjunto, todos los testigos analizados muestran secuencias sedimentarias características de medios costeros submareales, confinados y fuertemente antropizados, con un sedimento de grano fino, unos valores muy elevados de contaminantes metálicos y una presencia muy escasa de microfauna. El sondeo PAS1 presenta los mayores contenidos en metales detectados en esta zona oriental de la bahía, superiores a los que marcan los niveles de contaminación más altos propuestos por la Comisión Interministerial de Estrategias Marinas (CIEM, 2015) para los materiales dragados (600 mg/kg Pb; 1640 Zn; 675 Cu). No obstante, los foraminíferos, aunque son escasos, tienen una mayor presencia en este sondeo. La contaminación metálica muestra una ligera disminución hacia las zonas más internas de la bahía, de modo paralelo al descenso observado en el contenido de estos protistas de afinidad salina. La mayor concentración de metales en PAS1 probablemente está ligada a su proximidad con los principales focos de vertido, como son las zonas de carga y descarga de chatarras, mientras que la mayor presencia de microfauna en este sondeo está relacionada con su menor distancia a la bocana, que aporta caparazones de taxones marinos transportados. Por otro lado, la menor concentración de foraminíferos en las zonas más internas de la bahía (PAS2 y PAS3) parece estar relacionada con una mayor influencia del río Oiartzun, que desemboca en esa zona e introduce en los sedimentos los caparazones de tecamebas y la materia vegetal procedente tanto de la cuenca fluvial como de la vecina papelera de Erreterria. La presencia de abundante materia orgánica es responsable de los bajos niveles de oxígeno detectados en estos materiales (González *et al.*, 2012). Tal y como fue establecido previamente para la Ría de Bilbao (Cearreta *et al.*, 2000), este bajo nivel de oxígeno en los sedimentos es el factor limitante que explica la reducida presencia de foraminíferos en medios costeros antropizados e impide,

junto con el carácter muy contaminado de los fangos, el desarrollo de asociaciones estables de microfauna que se limitan a presentar pocos ejemplares de las especies más tolerantes. Las condiciones estuarinas originales registradas en los sondeos holocenos (Pérez-Herrera, 2014) muestran asociaciones con especies diferentes y una abundancia de foraminíferos muy superior (hasta 30 veces). La edad obtenida para estos materiales recientes en PAS2 indica que estas malas condiciones ambientales han sido persistentes en la bahía al menos durante los últimos 60 años.

Conclusiones

El registro sedimentario reciente en la bahía de Pasaia incluye materiales depositados en condiciones ambientales muy negativas al menos desde finales de los 1950. Los elevados niveles de contaminantes metálicos representan un factor decisivo a la hora de abordar una adecuada gestión de este medio estuarino (definición de zonas de interés prioritario, dragados, proyectos de regeneración ambiental, etc.).

Agradecimientos

Trabajo financiado por los proyectos Antropocosta (CGL2013-41083-P), Harea-Grupo de Investigación en Geología Litoral (GV, IT976-16) y Unidad de Formación e Investigación en Cuaternario (UPV/EHU, UFI11/09). Ainhoa Maguregui preparó en el laboratorio todas las muestras y Aintzane Goffard analizó los microfósiles de algunas en el sondeo PAS2. Los testigos fueron radiografiados en el Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital de Basurto (Bilbao) por el Dr. Txomin Grande (jefe del servicio), Eva M. Gallo (supervisora), Esther Luz y Arkaitz Arteaga (técnicos). Juan Usera (Universitat de València), otro/a evaluador/a anónimo/a y Manuel Díaz Azpiroz (Editor Adjunto) mejoraron la versión original de este manuscrito con sus indicaciones. Contribución nº 46 de la Unidad de Investigación Geo-Q Zentroa (Laboratorio Joaquín Gómez de Larena).

Referencias

Belzunce, M.J., Solaun, O., González Oreja, J.A., Millán, E. y Pérez, V. (2004). En: *Oceanography and Marine Environment of the Basque Country* (A. Borja y M. Collins,

Eds.), Elsevier, Amsterdam, 283-315.

Cearreta, A., Irabien, M.J., Leorri, E., Yusta, I., Croudace, I.W. y Cundy, A.B. (2000). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50, 571-592.

CIEM (2015). *Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre. Puertos del Estado*. Madrid, 173 p.

Díaz-Asencio, M., Corcho-Alvarado, J.A., Sánchez-Cabeza, J.A., Ruiz-Fernández, A.C. y Eriksson, M. (2016). *Estuaries and Coasts* 39, 1020-1034.

Edeso, J.M. (2006). *Lurralde* 29, 299-342.

Escudero, L.J. (2009). *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco* 6, 331-342.

Gómez de Larena, J. (1950). *Estudios Geográficos* 40, 501-513.

González, M., Blasco, J., Del Campo, A., Espino, M., Ferrer, L., Fontán, A., Germán, A., Hernández, C., Maidana, A. y Revilla, M. (2012). *Revista de Investigación Marina* 19, 632-644.

Irabien, M.J., García-Artola, A., Cearreta, A. y Leorri, E. (2015). *Quaternary International* 364, 196-205.

Legorburu, I. y Cantón, L. (1991). *Marine Pollution Bulletin* 22, 207-209.

Montero, N., Belzunce-Segarra, M.J., Del Campo, A., Garmendia, J.M., Ferrer, L., Larrreta, J., González, M., Maidana, M.A. y Espino, M. (2013). *Journal of Marine Systems* 109-110, S252-S260.

Pérez-Herrera, I.A. (2014). *Reconstrucción paleoambiental de la secuencia sedimentaria holocena en el estuario de Pasajes (País Vasco, España): microfósiles marinos y terrestres como indicadores*. Tesis de Maestría, Univ. de Sonora, 118 p.

Reizabal, G., González-Amezua, P. y González, A. (1987). *Pasajes, un Puerto, una Historia*. Editora Junta del Puerto de Pasajes, San Sebastián, 209 p.

Rodríguez, J.G., Tueros, I., Borja, A., Belzunce, M.J., Franco, A., Solaun, A., Valencia, V. y Zuazo, A. (2006). *Science of the Total Environment* 370, 278-293.

Rodríguez, J.G., Rouget, P., Franco, J., Garmendia, J.M., Muxika, I., Valencia, V. y Borja, A. (2010). *Ecological Indicators* 10, 891-895.

Santana, R. (1966). *Géomorphologie des bassins de la Bidasoa et de l'Urumea*. Tesis Doctoral, Univ. de Bordeaux, 162 p.

Vidal-Liñán, L., Bellas, J., Etxebarria, N., Nieto, O. y Beiras, R. (2014). *Science of the Total Environment* 470-471, 107-116.