Las marismas de la Ría de Plentzia (Bizkaia) como archivos de la historia local y global

Cearreta Bilbao, Alejandro[1]; García Artola, Ane[2]; Leorri Soriano, Eduardo[3]

El registro sedimentario depositado durante los últimos siglos en las marismas de la Ría de Plentzia permite reconstruir los procesos más importantes que han operado ahí a través del tiempo y que responden tanto a factores locales (ocupación humana de estas marismas con fines agrícolas) como de carácter global (variaciones en el nivel marino como consecuencia del cambio climático actual).

Palabras Clave: Litoral. Ocupación agrícola. Regeneración ambiental. Nivel del mar. Cambio climático. Plentzia.

Plentziako Itsasadarreko paduretan azken mendeetan jalkiriko sedimentazio erregistroak denboran zehar bertan gertaturiko prozesurik garrantzitsuenak berreraikitzeko bide ematen du, dela tokiko faktoreek eragindakoak (padura horien giza okupazioa lur lanei begira), dela izaera globaleko faktoreek eragindakoak (itsas mailaren gorabeherak, oraingo klima aldaketaren ondorioz).

Giltza-Hitzak: Itsasbazterra. Nekazaritza okupazioa. Ingurumena berroneratzea. Itsas maila. Klima aldaketa. Plentzia.

Le registre des sédiments déposés durant les siècles derniers dans les marais de la Ría de Plentzia permettent de reconstruire les processus les plus importants qui y ont opéré à travers le temps et qui répondent aussi bien aux facteurs locaux (occupation humaine de ces marais à des fins agricoles) qu'à ceux à caractère global (variations dans le niveau marin comme conséquence du changement climatique actuel).

Mots-Clés: Littoral. Occupation agricole. Régénération environnementale. Niveau de la mer. Changement climatique. Plentzia.

UPV/EHU. Fac. Ciencia y Tecnología. Micropaleontología. Apartado 644. 48080 Bilbao.
E-mail: 1. alejandro.cearreta@ehu.es ; 2. ane.garcia@ehu.es

East Carolina University. Department of Geological Sciences. Graham Building 103B. NC 27858 Greenville. USA. E-mail: 3. leorrie@ecu.edu

1. INTRODUCCIÓN

La costa vasca es de naturaleza fundamentalmente acantilada. Este frente marino acantilado se encuentra interrumpido por pequeños estuarios en los que se desarrollan marismas de dimensiones reducidas. Durante el siglo XVIII comenzó el deterioro de estas zonas húmedas, inicialmente debido a su ocupación con fines agrícolas y ganaderos, y posteriormente para asentar el crecimiento urbano e industrial. Rivas y Cendrero (1991) concluyeron que la ocupación de marismas y otras zonas intermareales puede considerarse como el principal proceso de evolución geomorfológica en la costa cantábrica oriental durante los dos últimos siglos. A mediados del siglo XX, las zonas desecadas se abandonaron como consecuencia de la emigración hacia las ciudades (Cearreta et al., 2002). Este abandono y la falta de mantenimiento de sus diques de aislamiento facilitaron la entrada de agua estuarina y su regeneración natural reciente.

La preocupación actual por el ascenso del nivel marino global relacionado con el calentamiento antropogénico del océano y la atmósfera ha generado un creciente interés por los cambios ambientales del pasado reciente registrados en los medios costeros. Se ha estimado una tasa de ascenso del nivel marino global de unos 19 cm durante el siglo XX a partir del registro de alta resolución proporcionado por los mareógrafos (Bindoff et al., 2007), tres veces mayor que en el siglo anterior (Jevrejeva et al., 2008). Más recientemente, a partir de la altimetría por satélite se han realizado incluso estimaciones de ascenso del nivel marino global de unos 3 mm año^{-1} (Leuliette et al., 2004), sugiriendo una aceleración aún mayor durante las últimas décadas.

El análisis del registro instrumental de los mareógrafos más cercanos a la costa cantábrica oriental con un registro suficientemente dilatado muestra una velocidad de ascenso marino para los últimos 60 años de 2,08±0,33 mm año^{-1} (Santander y San Juan de Luz, periodo 1943-2004). Con un registro temporal más extenso, la información geológica en las marismas de la costa vasca señala un cambio de tendencia en la tasa de ascenso del nivel marino durante la primera década de 1900, y proporciona una estimación de ascenso de 1,9 mm año^{-1} durante el siglo XX, frente a un incremento prácticamente nulo durante los tres siglos anteriores (Leorri y Cearreta, 2009; García-Artola et al., 2009).

En este trabajo se analiza el registro sedimentario reciente de las tres zonas marismeñas más importantes de la Ría de Plentzia (Txipio, Ostrada e Isuskiza) y su evolución ambiental durante los últimos siglos, tras su ocupación humana histórica con fines agrícolas y bajo el actual escenario climático de calentamiento global y ascenso del nivel marino.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio

La Ría de Plentzia (Bizkaia) está constituida por la parte final del río Butrón sometida a la influencia de las mareas. Ocupa un área de 115 ha, presenta 7 km de longitud y una anchura media de 20 m (Gobierno Vasco, 1998). Es un estuario mesomareal donde la variación media del nivel de marea es 2,5 m (rango mareal entre +1,2 y +3,7 m), mientras que la variación mínima es 1 m (mareas muertas) y la máxima 4,5 m (mareas vivas) (Villate et al., 1990). Alrededor del 80% de su superficie estuarina está expuesta hoy en día durante la bajamar. A lo largo de los últimos 150 años las características naturales de la Ría de Plentzia han sido modificadas por la ocupación urbana de las zonas intermareales arenosas del estuario inferior y por la ocupación de sus marismas con fines agrícolas tanto en la zona inferior como superior del estuario. Tras el abandono de las actividades agrícolas durante la segunda mitad del siglo XX, estas marismas han experimentado una progresiva regeneración ambiental, y se ha calculado que estas zonas regeneradas representan unas 30 ha del estuario actual. Además, se estima que otras 14,5 ha adicionales de zonas estuarinas ocupadas podrían ser fácilmente restauradas como humedales costeros (Gobierno Vasco, 1998).

La marisma de Txipio se encuentra en el estuario inferior, frente a la villa de Plentzia, y ocupa una superficie de 14,2 ha (Figura 1). Está separada del estuario por una carretera construida sobre un antiguo dique, y fue ocupada con fines agrícolas alrededor de 1860 (Hormaza, 1998) y abandonada a finales de los años 1960s. A partir de entonces, esta zona se inunda periódicamente por las aguas estuarinas mareales que entran solamente a través de dos compuertas artificiales situadas bajo la carretera. Onaindia y Amezaga (1999) estudiaron la vegetación halófita de esta marisma y encontraron *Arthrocnemum fruticosum*, *Aster tripolium*, *Halimione portulacoides*, *Juncus maritimus*, *Polygonum maritimum*, *Puccinelia maritima*, *Salicornia ramosissima* y *Spartina maritima* como especies dominantes en la unidad central de la marisma, mientras que *Elymus pycnanthus* y *Phragmites australis* dominan las áreas occidentales de la marisma más elevadas topográficamente.

La marisma de Ostrada se localiza en la zona media-superior del estuario y ocupa una curva de meandro de unas 10,5 ha de extensión (Figura 1). Está dividida internamente en tres unidades por diques artificiales. La unidad más oriental es una marisma madura cubierta por *A. fruticosum*, *J. maritimus* y *Limonium binervosum* (M. Onaindia, comunicación personal). La unidad media fue utilizada para la plantación de *Eucaliptus* durante los años 1970-1980s pero abandonada por su escasa productividad y actualmente está siendo colonizada por *Spergularia maritima* y *S. ramossissima*. La unidad occidental está bien preservada y aparece colonizada por *S. maritima*, *S. ramossissima*, *L. binervosum* y *H. portulacoides* (M. Onaindia, comunicación personal).

Por último, la marisma de Isuskiza se ubica en el estuario superior, ocupa una superficie de 12,4 ha y está separada internamente y del cauce principal de la ría por diques artificiales en proceso de deterioro (Figura 1). Ha experimentado una regeneración natural muy reciente a partir de una extensa superficie marismeña ocupada con fines agrícolas en la década de 1860 (Hormaza, 1998). Actualmente se caracteriza por una vegetación halófita dominada por *H. portulacoides*, pero aún son claramente visibles las parcelaciones agrícolas originales.

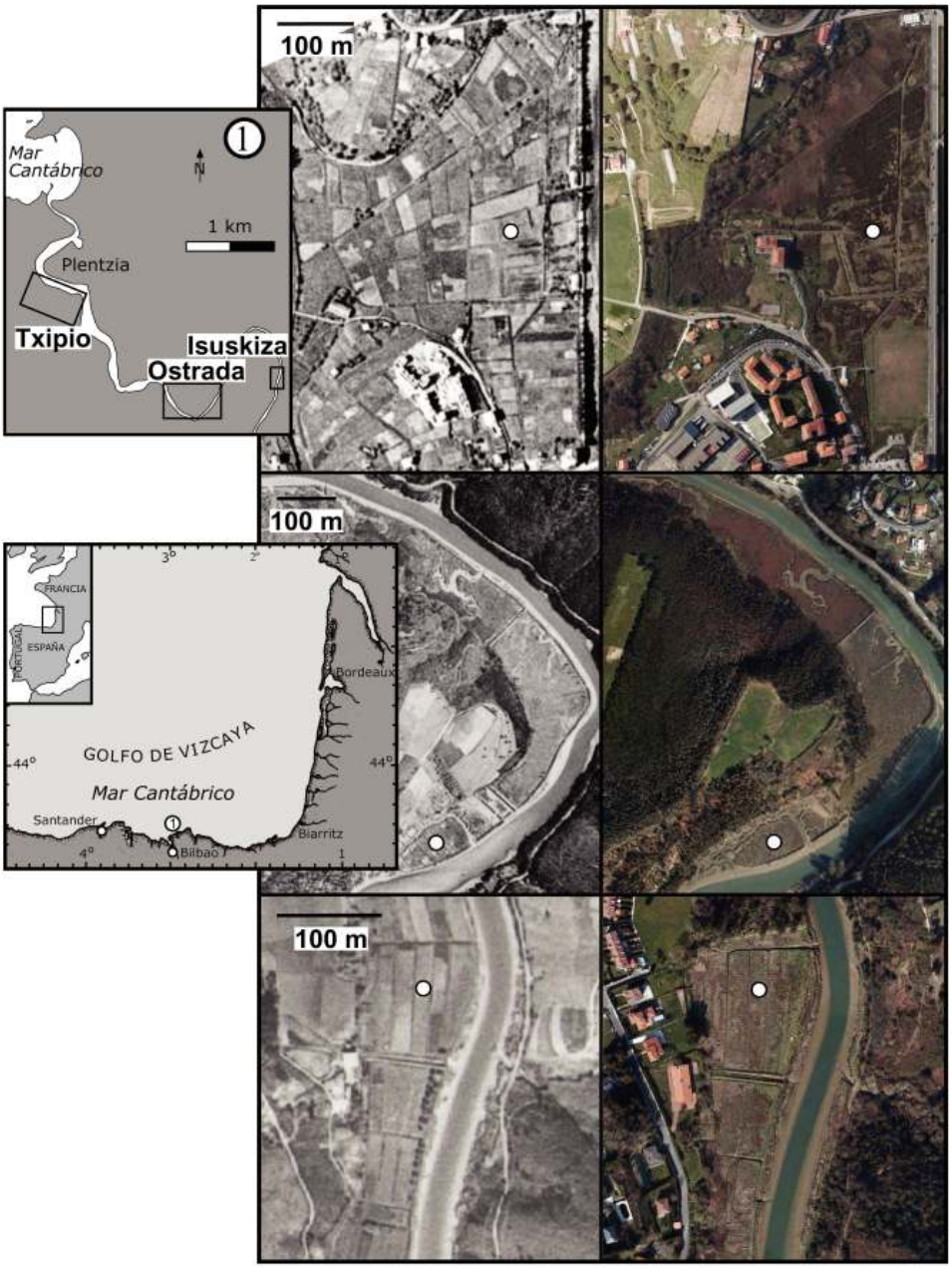

Figura 1. Localización geográfica de las marismas estudiadas en la Ría de Plentzia, mostrando la posición de los sondeos (puntos blancos) en fotografías aéreas históricas (1956, izquierda) y actuales (2008, derecha): Txipio (arriba), Ostrada (centro) e Isuskiza (abajo).

2.2. Metodología de estudio

En la zona central de cada una de estas tres marismas se perforaron sondeos manuales con el fin de obtener su registro sedimentario y poder estudiar así su evolución ambiental reciente. En Noviembre 1997 se perforaron los sondeos en las marismas de Txipio (sondeo T, situado +2,51 m por encima del nivel 0 regional) y Ostrada (sondeo O, situado +3,39 m por encima del nivel 0 regional) mientras que el sondeo en la marisma de Isuskiza (sondeo I, situado +3,11 m por encima del nivel 0 regional) se obtuvo en Octubre 2006. La compactación del sedimento durante la perforación fue inapreciable debido a su carácter siliciclástico y al gran diámetro del tubo utilizado. En todos los casos, dos tubos de PVC (12,5 cm de diámetro) se insertaron en el sedimento con el fin de obtener suficiente material para determinar el tamaño de grano, el contenido en foraminíferos bentónicos (protistas que habitan en medios salinos y que segregan o construyen un caparazón mineralizado susceptible de preservarse en el registro sedimentario) y las características geoquímicas del sedimento (radioisótopos de vida corta). Los sondeos se describieron y fotografiaron antes de ser muestreados en secciones de 1 cm de espesor. Asimismo, se determinó la elevación topográfica de la zona perforada (GPS Leica de doble frecuencia, RTK; error: ±0,035 m) y esta información se presenta en relación al nivel 0 regional (bajamar más extrema del Puerto de Bilbao, 27 de Septiembre 1878; situado 1,73 m por debajo del nivel marino establecido en Alicante).

Con el objetivo de analizar el contenido en foraminíferos bentónicos, las muestras se levigaron con agua utilizando tamices de 1 mm (para eliminar los fragmentos orgánicos grandes) y 63 micras (para eliminar los materiales de tamaño limo y arcilla), y posteriormente se secaron a 50º C. Los foraminíferos fueron concentrados por flotación con tricloroetileno. Se recogieron caparazones de microfósiles hasta obtener un número representativo superior a 300 individuos para cada muestra. En caso de no ser posible, se recogió el máximo número de individuos disponible por muestra y se examinaron bajo una lupa estereoscópica binocular de luz reflejada. En total se han analizado 92 muestras y más de 19.600 caparazones de foraminíferos en los diferentes sondeos perforados.

Los sondeos han sido datados utilizando ^{210}Pb y ^{137}Cs. El ^{210}Pb es un radioisótopo natural procedente de la atmósfera que se utiliza comúnmente en la datación de sedimentos recientes (unos 100 años) y que está basado en la determinación de su distribución vertical en el sondeo, lo que permite asociar edades a las distintas capas sedimentarias en base a su velocidad de transformación (Appleby y Oldfield, 1994). Por otra parte, el ^{137}Cs es un radioisótopo cuya presencia en el medio proveniente de la atmósfera se debe a las pruebas de armas atómicas, los accidentes nucleares y los vertidos de las instalaciones nucleares. En el hemisferio norte se distinguen picos en la presencia de este elemento que ocurrieron en los años 1958 y 1963 (a partir de las pruebas con armas atómicas) y en 1986 (tras el accidente en la central nuclear de Chernobyl) (Ritchie y McHenry, 1990). La zona de estudio está alejada de los principales vertidos de instalaciones nucleares en Europa (Sellafield-GB y La Hague-F) y de la pluma de Chernobyl, lo que implica que la presencia de ^{137}Cs en estas marismas tiene su origen en la detonación de armas nucleares cuyo pico en la atmósfera se produjo en 1963. Sin embargo, los resultados geocronológicos obtenidos en Isuskiza no se discuten en este trabajo por ser incoherentes con la información micropaleontológica y de fotografía histórica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. La marisma de Txipio

El sondeo de Txipio está compuesto por 30 cm de limos y arcillas con un contenido variable de arena que decrece hacia arriba. El sedimento es de color marrón excepto los 8 cm más superficiales que son de color negro y presentan bioturbación (Figura 2). En general, su contenido en foraminíferos es muy abundante (excepto el intervalo entre 2-8 cm) y, aunque de manera irregular, muestra una tendencia decreciente hacia arriba.

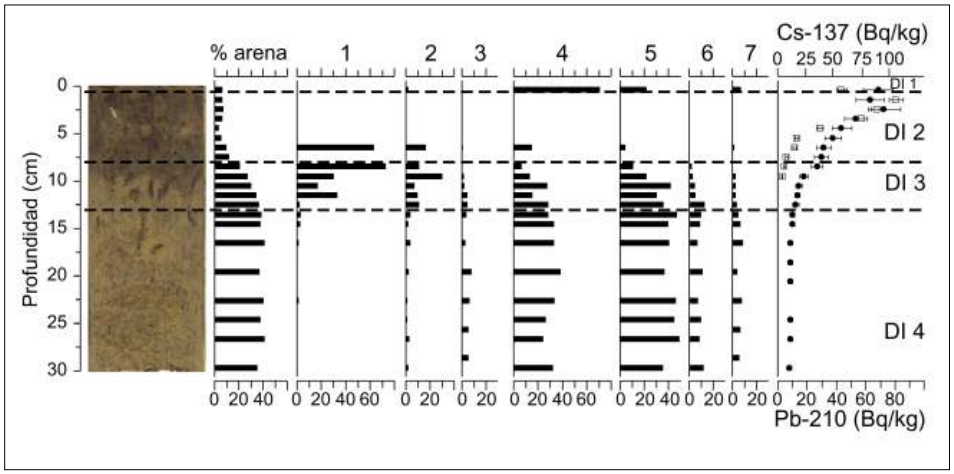

Figura 2. Fotografía, contenido en arena (%), principales especies de foraminíferos (1: *T. inflata*; 2: *J. macrescens*; 3: *C. lobatulus*; 4; *A. tepida*; 5: *H. germanica*; 6: *C. oceanensis*; 7: *C. williamsoni*) y distribución de las concentraciones de ^{210}Pb total (puntos) y ^{137}Cs (cuadrados) (Bq kg^{-1}) en función de la profundidad (cm) en el sondeo T de la marisma de Txipio (Ría de Plentzia). DI: intervalos de profundidad definidos.

Se han diferenciado 4 intervalos a diferentes profundidades en este sondeo (DIs). El primer intervalo corresponde a los 17 cm basales en los que dominan las especies carbonatadas *Haynesina germanica* (media 42%) y *Ammonia tepida* (media 31%). Las especies secundarias son *Cribroelphidium oceanensis* (media 8%), *Cibicides lobatulus* (media 6%) y *Cribroelphidium williamsoni* (media 5%). Este intervalo presenta un contenido en arena elevado (media 37%), un contenido en material orgánica muy reducido (media 1%), un número variable de caparazones/50 g (media 1.166), una elevada diversidad específica (media 14 especies) y un contenido significativo de foraminíferos alóctonos de mar abierto (media 9%). Su comparación con las asociaciones actuales de foraminíferos en los estuarios cantábricos (Cearreta, 1988) indica que este intervalo DI4 fue depositado en un medio de llanura intermareal salobre.

Los siguientes 5 cm se caracterizan por una mezcla de caparazones carbonatados y aglutinantes. *Trochammina inflata* (media 31%), *H. germanica* (media 27%), *A. tepida* (media 18%) y *Jadammina macrescens* (media 13%) son las especies principales. Su

contenido en arena decrece rápidamente hacia arriba en este intervalo (media 29%) y el contenido medio en materia orgánica es 2%. La densidad/50 g de foraminíferos presenta una media de 941 individuos, la diversidad media es de 10 especies y el contenido medio en caparazones alóctonos transportados es 3%. Por comparación con las asociaciones actuales de esta misma marisma (Cearreta et al., 2002), este intervalo DI3 se interpreta como un medio de marisma baja.

Los 7 cm siguientes del sondeo contienen cantidades muy escasas de foraminíferos (media 81 individuos/50 g) y de arena (media 6%), y un mayor contenido en materia orgánica vegetal (media 6%). Este intervalo DI2 no contiene suficientes foraminíferos para realizar un análisis cuantitativo. Utilizando los registros históricos y las tasas de acreción sedimentaria derivadas de los isótopos de vida corta (ver más abajo), este intervalo es interpretado como un depósito antrópico introducido en la marisma durante su periodo de ocupación humana.

Finalmente, el centímetro más superficial representa las condiciones actuales en la zona central de la marisma de Txipio con una asociación de foraminíferos abundante, poco diversificada y fundamentalmente carbonatada, típica de una marisma baja regenerada (DI1) que está dominada por las especies *A. tepida* (media 31%), *T. inflata* (media 17%), *J. macrescens* (media 12%), *H. germanica* (media 12%) y *C. williamsoni* (media 10%).

En Txipio casi toda la actividad de ^{137}Cs se concentra en los 8 cm más superficiales del sondeo. Un máximo de esta actividad se encuentra a -2 cm que si se asocia al máximo en la actividad nuclear del año 1963 aporta una velocidad de acreción sedimentaria de unos 0,5 mm año^{-1}. Por otra parte, la actividad de ^{210}Pb en exceso muestra una reducción exponencial con la profundidad, que alcanza valores imperceptibles a -15 cm. La tasa de acumulación sedimentaria que se deduce es 1 mm año^{-1}. Esta velocidad indica probablemente un valor máximo como consecuencia de la posible migración vertical en el sondeo del ^{210}Pb debido a la bioturbación. Este mismo fenómeno migratorio puede deducirse de la presencia de ^{137}Cs a mayores profundidades de las que pueden suponerse a partir de la posición del pico de concentración correspondiente al año 1963. Por tanto, debido a esta aparente mezcla vertical, la velocidad de acreción sedimentaria en Txipio es probablemente menor que la obtenida a partir del ^{210}Pb, y se estima en unos 0,5-1 mm año^{-1}.

Las bajas tasas de acreción obtenidas en Txipio parecen relacionadas con la ocupación agrícola de esta marisma en la década de 1860. El aporte de sedimento marino tras esta ocupación humana ha sido probablemente mínimo, aunque el aporte sedimentario recomenzó tras el abandono de esta zona a finales de los años 1960s. Utilizando una tasa de acreción de 0,5-1 mm año^{-1}, el límite entre el intervalo fangoso oscuro (DI2) y el intervalo más arenoso infrayacente (DI3) puede situarse temporalmente hacia finales de 1800s, coincidiendo con el registro histórico del momento de ocupación humana.

3.2. La marisma de Ostrada

El sondeo de Ostrada está constituido por 50 cm de limo fangoso con un pequeño componente arenoso que se incrementa ligeramente hacia arriba. Es de color marrón excepto los 5,5 cm más superficiales que son de color negro (Figura 3). Los materiales están finamente laminados y muestran bioturbación por poliquetos. El número de caparazones presente en el sondeo es muy elevado y, aunque irregularmente, muestra un incremento general hacia arriba.

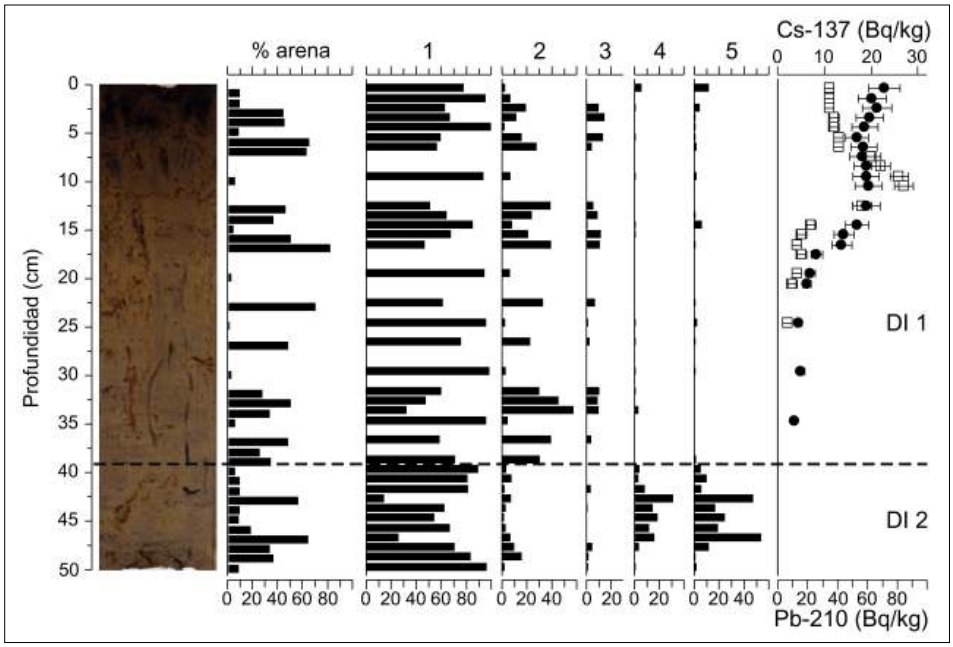

Figura 3. Fotografía, contenido en arena (%), principales especies de foraminíferos (1: *J. macrescens*; 2: *T. inflata*; 3: *A. mexicana*; 4; *A. tepida*; 5: *H. germanica*) y distribución de las concentraciones de ^{210}Pb total (puntos) y ^{137}Cs (cuadrados) (Bq kg^{-1}) en función de la profundidad (cm) en el sondeo O de la marisma de Ostrada (Ría de Plentzia). DI: intervalos de profundidad definidos.

Se han distinguido dos intervalos de foraminíferos en función de la profundidad. Los 11 cm basales se caracterizan por una mezcla de foraminíferos aglutinantes y carbonatados con abundante *J. macrescens* (media 65%), *H. germanica* (media 17%), *A. tepida* (media 9%) y *T. inflata* (media 5%). Este intervalo DI2 contiene un número variable de caparazones/50 g (media 748) y de especies (media 8), y un contenido en caparazones marinos alóctonos muy bajo (media 0,2%). El contenido en arena es asimismo muy bajo (media 4%) al igual que el contenido en material orgánica que decrece rápidamente hacia arriba en este intervalo (media 3%). Por comparación con las asociaciones actuales de esta marisma y de otras de la costa vasca (Cearreta et al., 2002), este intervalo DI2 ha sido depositado en un medio de marisma baja.

Los 39 cm suprayacentes están caracterizados por el DI1. Este intervalo está completamente dominado por foraminíferos aglutinantes con *J. macrescens* (media 70%), *T. inflata* (media 20%) y *Arenoparrella mexicana* (media 5%) como especies principales. La densidad de foraminíferos/50 g muestra una tendencia creciente hacia arriba en el sondeo con una abundancia media de 850 caparazones. El contenido en arena es pequeño (media 1%), la diversidad específica es muy baja (media 5 especies), y el contenido en caparazones transportados es 0%. Su comparación con las asociaciones actuales de esta marisma indica este DI2 como una marisma alta vegetada.

En Ostrada el ^{137}Cs muestra un claro máximo en actividad a -10 cm, que declina con la profundidad hasta valores no detectables a -30 cm. La adscripción de este máximo al año 1963 aporta una tasa de sedimentación de 3,2 mm año^{-1}. La actividad de ^{210}Pb, por su parte, muestra una disminución general con la profundidad, aunque aparecen pequeñas inflexiones en su perfil a -6 y -12 cm. Estas inflexiones parecen estar relacionadas con un cambio en la velocidad de deposición sedimentaria y no con una variación en la composición del sondeo o con una mezcla sedimentaria ya que se trata de materiales finamente laminados. Este radioisótopo aporta una velocidad de acreción media de 3,7 mm año^{-1} para el intervalo 0-35 cm, con una disminución en la velocidad de acreción sedimentaria para el intervalo 15-21 cm (0,6 mm año^{-1}), y una acreción más rápida de 3,2 mm año^{-1} durante el intervalo 0-15 cm. Esta última tasa de sedimentación concuerda con la obtenida por el ^{137}Cs y podría estar relacionada con un incremento en el aporte sedimentario tras el deterioro de los diques de aislamiento.

Leorri et al. (2008) aplicaron una función de transferencia basada en las asociaciones actuales de foraminíferos de las marismas de la costa vasca para la interpretación ambiental del intervalo DI1 como consecuencia de las variaciones recientes en el nivel marino, contribuyendo así a la reconstrucción de los cambios en el nivel del mar durante el siglo XX en esta zona costera. Así, seleccionaron el modelo de la función de transferencia que está basado en las muestras procedentes de los puntos de marisma con una mayor elevación topográfica con el fin de calibrar las muestras procedentes del sondeo, asignando a cada una de ellas una elevación de la superficie de paleomarisma. Las asociaciones de foraminíferos a lo largo del intervalo DI1 son muy similares entre sí por lo que la función de transferencia interpreta que la superficie de la marisma ha variado poco durante la deposición de todo este intervalo, lo cual sugiere que la superficie de marisma ha ido creciendo básicamente de modo paralelo al ascenso del nivel marino. Entre las elevaciones reconstruidas, la mayor (3,63±0,13 m sobre el nivel 0 regional) y la menor (3,43 ±0,13 m sobre el nivel 0 regional) están asociadas con grandes abundancias relativas de *J. macrescens* y *T. inflata*, y *J. macrescens* y *H. germanica*, respectivamente. Otras pequeñas variaciones en la elevación de la paleomarisma reflejan la presencia de abundancias variables en las especies secundarias. A continuación, las reconstrucciones basadas en foraminíferos fueron datadas con el fin de generar una curva del nivel del mar relativo a lo largo de los 200 años representados en ese intervalo del sondeo. Además, y con el fin de evaluar la reconstrucción así obtenida, se compararon los resultados con aquellos procedentes del registro instrumental del mareógrafo de Santander (el más próximo a la Ría de Plentzia con un registro temporal suficientemente dilatado).

Los resultados geológicos e instrumentales mostraron una gran concordancia entre sí, con una tendencia en el aumento del nivel del mar reconstruida a partir de este registro

geológico en Ostrada de 2,0±0,3 mm año^{-1} para el periodo 1884-1994, y unos resultados instrumentales de 2,18±0,41 mm año^{-1} para el intervalo 1944-2001 en Santander. Estos valores demostraron que es posible realizar reconstrucciones de alta resolución del nivel marino en base a las asociaciones de foraminíferos contenidas en las secuencias sedimentarias de las marismas de esta zona costera. Además, este incremento en la velocidad de ascenso marino localizado al inicio de los años 1900 es coincidente con el incremento en la temperatura global registrado durante el siglo XX (Bindoff et al., 2007).

3.3. La marisma de Isuskiza

El sondeo de Isuskiza está compuesto por 50 cm de limos y arcillas con un contenido variable de arena que aumenta de modo importante hacia arriba. El sedimento es de color oscuro excepto los 7 cm más superficiales que son de color marrón y presentan bioturbación (Figura 4). El número de foraminíferos bentónicos es elevado en los primeros centímetros superiores y va disminuyendo hasta desaparecer completamente en los centímetros más inferiores (García-Artola et al., 2011).

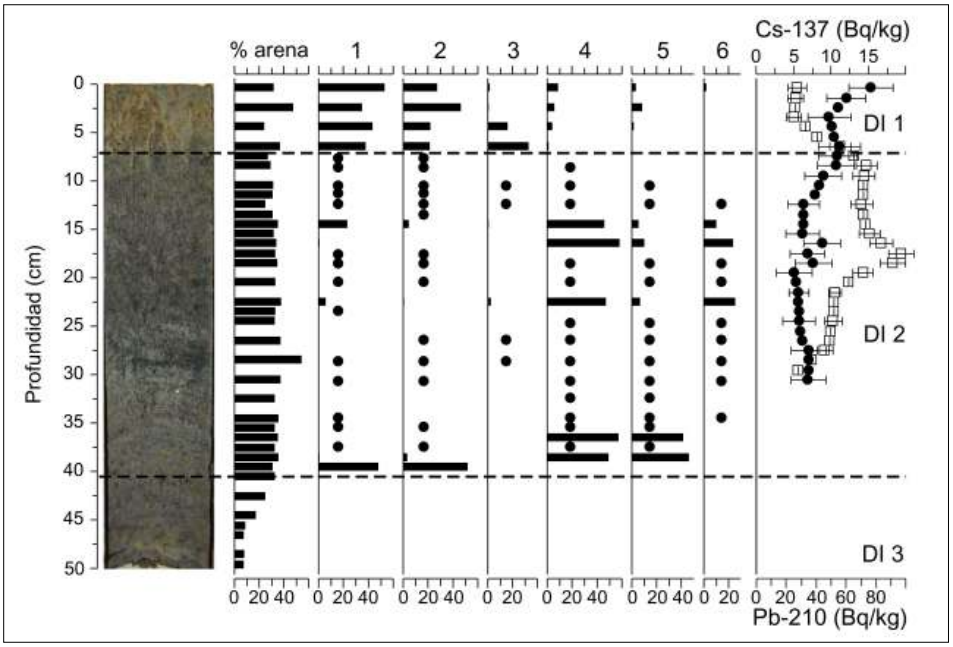

Figura 4. Fotografía, contenido en arena (%), principales especies de foraminíferos (1: *J. macrescens*; 2: *T. inflata*; 3: *M. fusca*; 4; *A. tepida*; 5: *H. germanica*; 6: *C. oceanensis*) y distribución de las concentraciones de ^{210}Pb total (puntos) y ^{137}Cs (cuadrados) (Bq kg^{-1}) en función de la profundidad (cm) en el sondeo I de la marisma de Isuskiza (Ría de Plentzia). Los puntos negros en la distribución de los foraminíferos representan la presencia de escasos caparazones. DI: intervalos de profundidad definidos.

Se han distinguido tres intervalos en función de la profundidad dentro del sondeo en términos de presencia, abundancia y dominancia de las especies de foraminíferos. Los 9 cm basales (DI3) se caracterizan por la ausencia total de foraminíferos y bajos contenidos de arena (media 12%). Parece representar un depósito antropogénico depositado durante el periodo de ocupación agrícola.

Los siguientes 34 cm están caracterizados por el intervalo DI2 y exhiben una baja e irregular abundancia de individuos (media 61 caparazones/50 g) y de especies (media 5), en comparación con el intervalo superior DI1. Las especies calcáreas *A. tepida* (media 52%), *H. germanica* (media 22%) y *C. oceanensis* (media 20%) son las formas dominantes en las muestras que contienen suficientes caparazones, mientras que las especies aglutinantes *J. macrescens* y *T. inflata* son secundarias. El contenido en arena (media 34%) es muy similar al encontrado en el intervalo superior DI1. La clara dominancia de las especies hialinas calcáreas, no específicas de un ambiente de marisma, frente a las especies aglutinantes y el elevado contenido en arena, parecen indicar que este intervalo representa una zona topográficamente baja. Ya que las fotografías históricas demuestran que el abandono de la actividad agrícola en esta zona se produjo entre los años 1973 y 1984, un primer cálculo aproximativo proporcionaría unas tasas de sedimentación a partir de entonces de 14-17 mm año^{-1}, valores lo suficientemente altos para obtener rápidamente la elevación necesaria para la formación de una marisma (intervalo DI1). Por tanto, las características de este intervalo medio parecen ser coherentes con un proceso de rápida regeneración ambiental a partir del suelo agrícola anterior (DI3).

El intervalo superior de 7 cm de espesor (DI1) está dominado por las especies aglutinantes *J. macrescens* (media 42%), *T. inflata* (media 29%) y *M. fusca* (media 13%). Las especies hialinas *A. tepida* y *H. germanica* aparecen en este intervalo como formas secundarias. El elevado contenido en arena (media 35%), la discreta diversidad de especies (media 10) y la aparición de especies hialinas calcáreas no exclusivas de marisma podrían indicar que esta zona representa actualmente una marisma baja regenerada.

3.4. Interpretación del registro sedimentario

A lo largo de la Ría de Plentzia existen diferentes zonas de marisma que han experimentado una evolución ambiental singular, en algunos casos influida bien por la ocupación humana local con fines agrícolas durante el siglo XIX y su posterior abandono y regeneración ambiental durante la segunda mitad del siglo XX, o bien por un desarrollo natural gobernado por el ascenso global en el nivel marino que ha tenido lugar durante el siglo XX.

En el caso de Txipio, los 8 cm superiores de su secuencia sedimentaria se interpretan, en base a la información histórica, micropaleontológica y radiométrica obtenida, como un depósito antropogénico introducido en esta zona durante la fase de ocupación humana con fines agrícolas (1860s-1960s) que supuso la destrucción de la marisma previa que existía ahí. El centímetro más superficial representa el estado actual de regeneración ambiental de la marisma que está gradualmente recuperando sus características naturales originales.

Por otra parte, Ostrada ha mostrado una secuencia sedimentaria determinada por el ascenso global en el nivel marino como consecuencia de la crisis climática que comenzó

en el siglo XX, y en su intervalo superior de 39 cm muestra una tendencia creciente en el nivel marino que ha podido ser cuantificada en 2,0 mm año^{-1} para el periodo 1884-1994, concordante con los registros instrumentales obtenidos en los diferentes mareógrafos situados alrededor del Golfo de Bizkaia.

Finalmente, Isuskiza presenta una secuencia caracterizada en sus 41 cm superiores por el reciente proceso de regeneración ambiental (desde 1978-1983) a partir de su ocupación agrícola anterior como consecuencia del abandono de las actividades humanas, el deterioro de sus diques de aislamiento y la entrada de agua mareal estuarina. Este proceso ha mostrado una velocidad muy elevada de acumulación sedimentaria (14-17 mm año^{-1}) que le ha permitido alcanzar su equilibrio con el prisma mareal y ha posibilitado así la rápida regeneración ambiental de esta marisma en un intervalo temporal de unos 10 años.

La metodología utilizada en el estudio de la historia local y global registrada en las marismas de la Ría de Plentzia que incluye el análisis de su contenido en microfósiles y radioisótopos, además de fotografía histórica, para la interpretación de las variaciones naturales y los cambios ambientales antropogénicos registrados en sus secuencias sedimentarias, ha demostrado ser de gran utilidad para la reconstrucción de la historia de las marismas.

La rápida regeneración ambiental de estos ecosistemas litorales previamente ocupados con fines agrícolas como consecuencia de elevadas tasas de sedimentación es de gran interés para la gestión ambiental de zonas costeras bajo el escenario actual de cambio climático y rápido ascenso del nivel marino. Este proceso es muy importante en la costa vasca donde existen amplias zonas ocupadas antrópicamente que podrían ser fácilmente restauradas mediante la eliminación de sus diques de aislamiento, contribuyendo así como una efectiva estrategia de adaptación para hacer frente al ascenso del nivel marino en curso ya que acumularían sedimento muy rápidamente hasta alcanzar su equilibrio con el prisma mareal. Mientras el ascenso en el nivel relativo del mar es un factor fundamental en la evolución costera y el desarrollo de las marismas, en la Ría de Plentzia la gran disponibilidad de sedimento ejerce el mayor control sobre los ecosistemas estuarinos y facilita la rápida regeneración ambiental de sus marismas.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue originalmente presentado como una comunicación oral dentro de las Jornadas de Historia Local de Plentzia (1868-1936) organizadas por Eusko Ikaskuntza y el Ayuntamiento de Plentzia (6-8 Julio 2011). Ha sido financiado por los proyectos TANYA (Transformación natural y antrópica de las marismas cantábricas, MICINN, CGL2009-08840), K-Egokitzen II (Cambio Climático: Impacto y Adaptación, GV-Etortek 2010, IE10-277) y Harea-Grupo de Investigación en Geología Litoral (GV, 80IT365-10). El análisis radiométrico de los sondeos de Txipio y Ostrada se realizó en el Centro Oceanográfico de Southampton (Dr. Ian W. Croudace) y el sondeo de Isuskiza fue analizado en la Universidad de Plymouth (Dr. William H. Blake). Ane García Artola ha recibido una ayuda predoctoral del Gobierno Vasco para la formación de investigadores (BFI08.180). Se agradecen los comentarios y propuestas de mejora al manuscrito original realizados anónimamente durante el proceso de evaluación. Representa la Contribución nº 10 de la Unidad de Investigación Geo-Q Zentroa (Laboratorio Joaquín Gómez de Llarena).

5. BIBLIOGRAFÍA

APPLEBY, P.G.; OLDFIELD, F. Applications of 210Pb to sedimentation studies. En: *Uranium-series disequilibrium. Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences* (Ivanovich, M.; Harmon, R.S., Eds.), 2ª edición. Oxford Science, 1994; pp. 1144-1153.

BINDOFF, N.L.; WILLEBRAND, J.; ARTALE, V.; CAZENAVE, A.; GREGORY, J.; GULEV, S.; HANAWA, K.; LE QUÉRÉ, C.; LEVITUS, S.; NOJIRI, Y.; SHUM, C.K.; TALLEY, L.D.; UNNIKRISHNAN, A. En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M. y Miller, H.L., Eds.). Cambridge University Press, 2007; pp. 385-432.

CEARRETA, A. "Distribution and ecology of benthic foraminifera in the Santoña estuary, Spain". En: *Revista Española de Paleontología*, nº 3, 1988; pp. 23-38.

CEARRETA, A.; IRABIEN, M. J.; ULIBARRI, I.; YUSTA, I.; CROUDACE, I. W.; CUNDY, A. B. "Recent Salt Marsh Development and Natural Regeneration of Reclaimed Areas in the Plentzia Estuary, N. Spain". En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, nº 54, 2002; pp. 863-886.

GARCÍA-ARTOLA, A.; CEARRETA, A.; LEORRI, E.; IRABIEN, M. J.; BLAKE, W. H. "Las marismas costeras como archivos geológicos de las variaciones recientes en el nivel marino". En: *Geogaceta*, nº 47, 2009; pp. 109-112.

GARCÍA-ARTOLA, A.; CEARRETA, A.; LEORRI, E.; IRABIEN, M. J. "Regeneración ambiental de marismas a partir de ocupaciones antrópicas de zonas costeras: interés de su estudio en el escenario actual de ascenso marino". En: *Geogaceta*, nº 50, 2011.

GOBIERNO VASCO. *Avance del Plan Territorial Sectorial de Zonas Húmedas de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Servicio de Publicaciones de la Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco, 1998.

HORMAZA, J.M. "Gentes de Plasentia de Butrón-Plencia". En: *Plasentia de Butrón-Plencia-Plentzia. Apuntes II* (Ayuntamiento de Plentzia / Fundación Bilbao Bizkaia Kutxa, Eds.), 1998; pp. 99-117.

JEVREJEVA, S.; MOORE, J.C.; GRINSTED, A.; WOODWORTH, P.L. "Recent global sea level acceleration started over 200 years ago?". En: *Geophysical Research Letters*, nº 35, 2008; pp. L08715.

LEULIETTE, E.; NEREM, R.; MITCHUM, G. "Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason Altimeter data to construct a continuous record of mean sea level change". En: *Marine Geodesy*, nº 27, 2004; pp. 79-94.

LEORRI, E.; CEARRETA, A. "Recent sea-level changes in the southern Bay of Biscay: transfer function reconstructions from salt-marshes compared with instrumental data". *En: Scientia Marina*, nº 73, 2009; pp. 287-296.

LEORRI, E.; HORTON, B.P.; CEARRETA, "A. Development of a foraminifera-based transfer function in the Basque marshes, N. Spain: Implications for sea-level studies in the Bay of Biscay". En: *Marine Geology*, nº 251, 2008; pp. 60-74.

ONAINDIA, M.; AMEZAGA, I. "Natural regeneration in salt marshes of northern Spain". En: *Annales Botanici Fennici*, nº 36, 1999; pp. 59-66.

RITCHIE, J.C.; McHENRY, J.R. "Application of radioactive fallout Cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review". En: *Journal of Environmental Quality*, nº 19, 1990; pp. 215-233.

RIVAS, V.; CENDRERO, A. "Use of natural and artificial accretion on the north coast of Spain: historical trends and assessment of some environmental and economic consequences". En: *Journal of Coastal Research*, nº 7, 1991; pp. 491-507.

VILLATE, F.; VALENCIA, V.; URRUTIA, J. "Estudio hidrográfico, sedimentológico y de metales pesados en las rías del Bidasoa y Plencia". En: *Informes Técnicos del Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco*, nº 32, 1990; pp. 1-100.