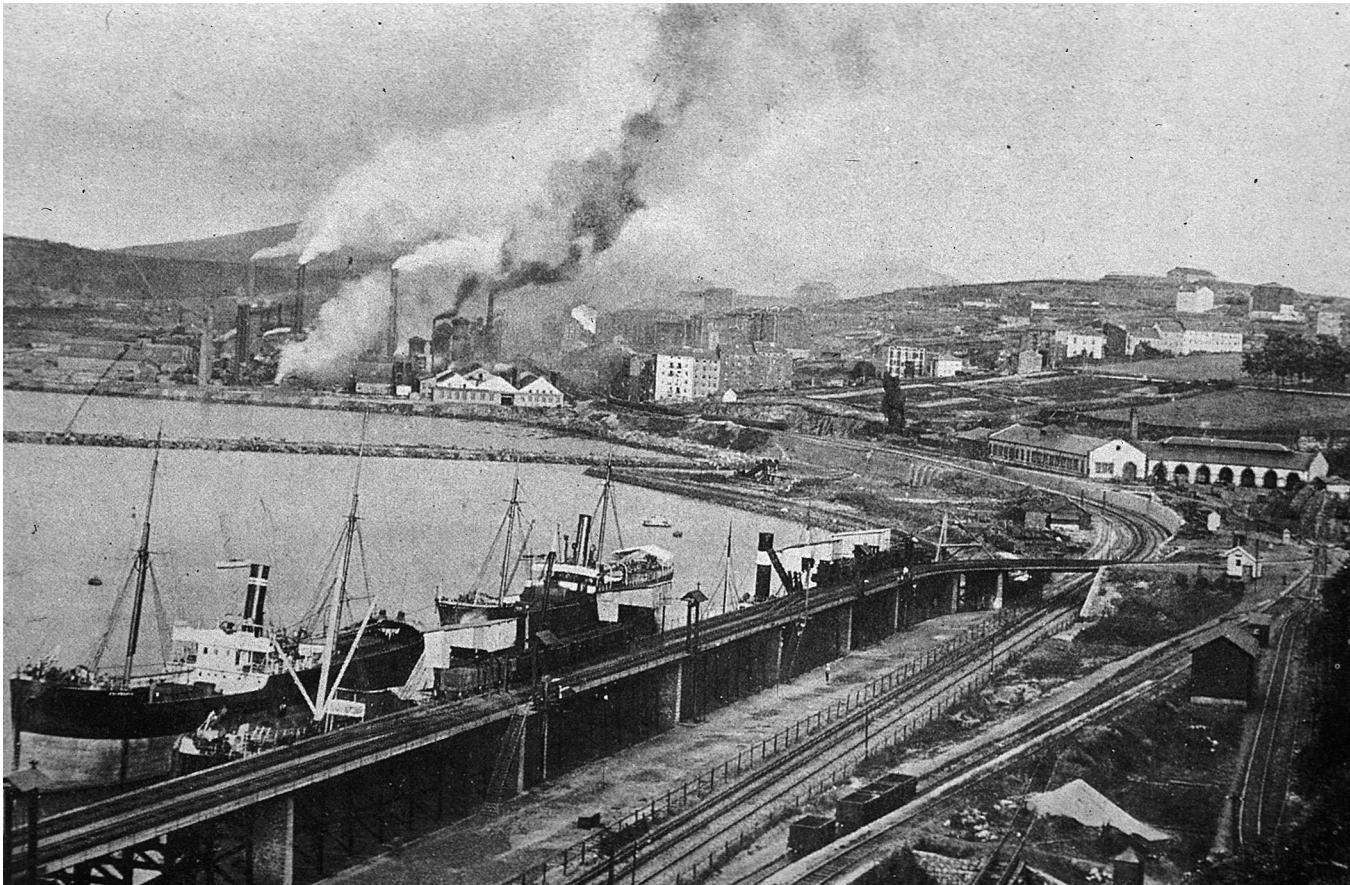




3. Etapa industrial (Siglo XIX-XX)



A partir de la segunda mitad del s. XIX, el desarrollo industrial fue alterando intensamente las características naturales de la ría. La imagen corresponde a Sestao a principios del s. XX.

3.1.Introducción

La contaminación de los medios litorales (por ejemplo, la Ría de Bilbao) se ha convertido en un serio problema en muchas partes del mundo (Nriagu y Pacyna, 1988). Los metales pesados y los contaminantes orgánicos que se han vertido a la ría sin ningún tipo de control (ver Capítulo 1) han sido captados por los sedimentos, especialmente por los materiales más finos. La acumulación de sedimentos contaminados puede provocar que estos contaminantes queden atrapados durante largos periodos de tiempo en los estuarios o en las bahías. Sin embargo, un cambio en las condiciones del medio (efecto de la diagénesis temprana, dragados, etc.) puede provocar su liberación al medio, incluso después de haber implementado procedimientos de limpieza y de haber limitado los vertidos (Beno y Gibbs, 1990), provocando un impacto ambiental significativo.

El registro de los cambios ambientales suele preservarse en los sedimentos de las marismas y de las llanuras fangosas inter- y submareales. El análisis de los restos de microfauna en estos sedimentos permite llevar a cabo una evaluación del impacto histórico de los contaminantes en los ecosistemas estuarinos. La acumulación de estos contaminantes puede crear un impacto dramático en la supervivencia de los organismos acuáticos, modificando las características ecológicas del área afectada. Este impacto puede ser registrado como un cambio en la asociación fósil en los testigos sedimentarios. Mientras que la preservación selectiva de los organismos limita enormemente el tipo de cambios que pueden valorarse, las modificaciones inducidas por la contaminación han sido examinadas con éxito utilizando organismos con un buen potencial de preservación, como los foraminíferos (Alve, 1991b; Sharifi *et al.*, 1991). Por otro lado, el estudio geoquímico de los sedimentos ha sido utilizado ampliamente para monitorizar la contaminación acuática (Wilber y Hunter, 1979; Boldrin *et al.*, 1989; Collins *et al.*, 1995; Zhang, 1995) y en reconstrucciones paleoambientales (Thomas y Varekamp, 1991; Daoust *et al.*, 1996), permitiendo realizar una valoración de la escala de los aportes de contaminantes sufridos en el reciente pasado industrial y del desarrollo urbanístico (Valette-Silver, 1993; Croudace y Cundy, 1995; Cundy *et al.*, 1997; Cundy *et al.*, 2003). Estos estudios también pueden permitir evaluar el efecto causado por el posterior depósito de sedimen-

tos no contaminados o de las medidas de recuperación ambiental. El interés de estos análisis geoquímicos radica en que van a caracterizar el medio en el que se encuentran las diferentes asociaciones de foraminíferos.

El objetivo de este capítulo es examinar la historia reciente de la transformación ambiental de la Ría de Bilbao a través de las asociaciones de foraminíferos bentónicos y con el apoyo de los datos geoquímicos. Ambos indicadores han sido obtenidos en los testigos sedimentarios recogidos de las llanuras intermareales.

3.1.a) El área de estudio

La Ría de Bilbao, cuyos rasgos naturales han sido modificados dramáticamente por el reciente desarrollo urbano, industrial y portuario, ha sido reducida a un simple canal mareal que es navegable desde la ciudad hasta el mar abierto (Capítulo 1). El estuario moderno tiene 15 km de longitud, una anchura media de 100 m y el canal tiene una profundidad media de 2 m en la cabecera y de 9 m en la desembocadura del estuario. Está formado por el tramo mareal del río Nervión, aunque cuatro afluentes (Kadagua, Asua, Galindo y Gobelas) descargan dentro de la propia ría (Figuras 3-1 y 3-2). El canal mareal desemboca en una amplia bahía denominada El Abra (anchura media 3,5 km; hasta 30 m de profundidad). La primera industria del hierro y el acero se instaló sobre las marismas de la zona media del estuario en 1854 (García-Merino, 1987). Durante los últimos 150 años, la Ría de Bilbao ha recibido vertidos de muchas fuentes (lavado mineral, desechos industriales y efluentes urbanos) que han degradado considerablemente la calidad ambiental del estuario. Como consecuencia, sus sedimentos tienen concentraciones extremadamente bajas de oxígeno y un contenido elevado en materia orgánica y metales pesados (Irabien, 1992; Sáiz-Salinas *et al.*, 1996). Estos sedimentos contaminados inmovilizados en las áreas intermareales pueden actuar a largo plazo como fuentes de metales pesados al medio acuático y, por lo tanto, podrían continuar teniendo un impacto medioambiental significativo.

3.2.Materiales y Métodos

Los sondeos estudiados, de 6 a 10 metros de longitud, fueron perforados en 6 áreas intermareales a lo largo la ría durante los meses de enero y

febrero del año 2000 (Figura 3-2): Zorroza, Asua, Erandio, Galindo, Simondrogas y Gobelás. Se eligieron estas áreas pensando que eran las menos afectadas por los continuos dragados llevados a cabo para mantener navegable el canal de la ría y, por tanto, donde mejor se podría conservar el registro histórico de la misma. En cualquier caso, debe hacerse notar que es extremadamente difícil encontrar ambientes inalterados en este estuario donde se puedan recuperar sondeos con registro temporal continuo. Por medio de una perforadora de percusión se insertaron varias extensiones de acero (diámetro interior de 3 cm) en cada punto de muestreo, con la intención de alcanzar el horizonte más profundo posible. Los sondeos fueron descritos y fotografiados previamente a la realización del muestreo, en el que se tomaron muestras (3 cm de grosor) aproximadamente cada 25 cm.

Las profundidades están referidas siempre al nivel del mar local (nlm, la bajamar equinoccial en el Puerto de Bilbao, fechada el 27 de septiembre de 1878).

Las muestras tomadas para el análisis de foraminíferos fueron tratadas siguiendo el proceso descrito en el apartado 1.1.c. Observaciones previas de la fracción arena indicaron que los caparazones de los foraminíferos mostraban un buen estado de conservación, no aparecían signos de disolución en las especies de naturaleza carbonatada, y que tampoco se observaban individuos con deformidades de manera frecuente. El residuo pesado obtenido tras la flotación en tricloroetileno fue examinado para evitar la posible pérdida de caparazones que no flotaran. Donde su abundancia lo permitió, se extrajeron caparazones hasta obtener una cantidad representativa superior a 300 individuos. En el resto de los casos se recogieron todos los caparazones presentes en la muestra. Los datos obtenidos han sido convertidos a 15 g de referencia (cantidad presente en todas las muestras), con el fin de

poder comparar directamente entre si los diferentes resultados. Los microfósiles fueron estudiados en un microscopio estereoscópico binocular, de luz reflejada, ordenados en celdillas e identificados. En total, 206 muestras y más de 30.000 foraminíferos fueron estudiados en los sondeos de percusión extraídos. Todas las especies identificadas en las muestras aparecen en el Apéndice 3-A. Estas especies han sido divididas en indígenas y exóticas, en base al trabajo de Cearreta (1988, Tabla 2). La interpretación ambiental de las asociaciones de foraminíferos está basada en su abundancia y distribución actual en áreas estuarinas del norte de España (Cearreta 1988; Cearreta *et al.*, 2000) y en las asociaciones holocenas de foraminíferos obtenidas previamente en sondeos de la Ría de Bilbao (Cearreta, 1998).

Por su parte, las muestras utilizadas para los análisis geoquímicos fueron recogidas simultáneamente con las destinadas al análisis micropaleontológico y numeradas correlativamente, de tal manera que la comparación entre ambos indicadores fuera lo más precisa posible. Los procedimientos utilizados para su análisis y las diferentes técnicas utilizadas aparecen descritos en Cearreta *et al.* (2002a). Los análisis realizados sobre los sedimentos incluyen los metales pesados y el As, elementos que nos permiten abordar una valoración de las tendencias históricas de la contaminación, cuantificar el grado de deterioro actual de los sedimentos, y evaluar correctamente la futura regeneración ambiental. Los resúmenes estadísticos para el Fe, Mn, Ti, Zn, Pb, Cu, Ni, Cr y el As en los sedimentos preindustriales y en los sedimentos afectados antropogénicamente se presentan en la Tabla 3-1, incluida en Cearreta *et al.* (2002a).



Figura 3-1 (a): Zona superior de la ría, frente al Casco Viejo de Bilbao.



Figura 3-1 (b): Zona media de la ría, desde Elorrieta (parte baja de la foto) hasta Barakaldo.



Figura 3-1 (c): Zona inferior de la ría, desembocadura en el Abra (Portugalete-Getxo).

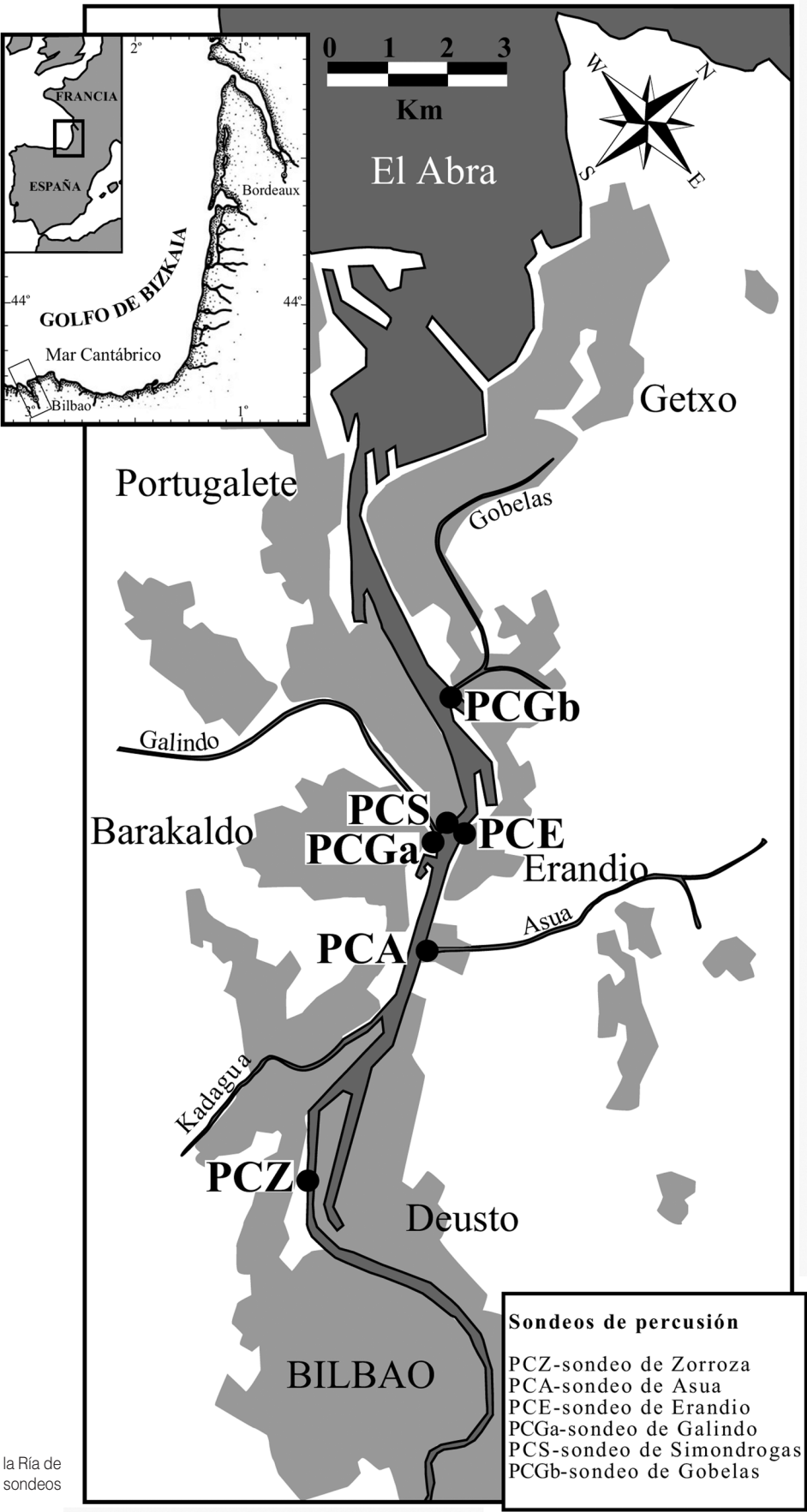


Figura 3-2: Localización geográfica de la Ría de Bilbao, mostrando la situación de los sondeos de percusión realizados.

3.3.Resultados

3.3.a) Sondeo de Percusión Zorroza (PCZ)

Este sondeo se obtuvo en una llanura intermareal de la zona superior del estuario, localizado a +0,429 m sobre el nivel local del mar (Figuras 3-2 y 3-3). Presenta 6 m de longitud y consiste en un fango arenoso negro y maloliente. El contenido en arena es bajo a lo largo del sondeo con una media del 15 %, variando entre el 1 y el 25 % (Figura 3-4). Entre -5,57 m y -4,60 m aparecen algunas gravas.

Se han encontrado un total de 5727 caparazones de foraminíferos y 36 especies (Apéndice 3-A) en las 29 muestras analizadas en este sondeo. Los resultados de los foraminíferos que se presentan en la Figura 3-4 y en la Tabla 3-2 aparecen como número de caparazones de foraminíferos por 15 g de sedimento seco para su estandarización. En base a su contenido de foraminíferos, este sondeo se puede dividir en dos Asociaciones de Foraminíferos (AF).



Figura 3-3: Perforación del sondeo Zorroza (PCZ) en la Ría de Bilbao.

Una AF2 basal, desde los -5,57 m a los 0,42 m, con foraminíferos abundantes/15 g (media 324, rango 2-865). Las muestras más profundas de esta zona están caracterizadas por tener gravas y, consecuentemente, presentan una asociación menos abundante. Esta zona está fuertemente dominada por las especies estuarinas *A. tepida* (media 61%, rango 35-76%) y *H. germanica* (media 29%, rango 16-47%), siendo la especie secundaria *C. oceanensis* (media 5%, rango 0-20%). También presenta un completo dominio de caparazones hialinos (media 100%) y una abundancia muy baja de foraminíferos exóticos (media 3%, rango 0-12%). Todo esto sugiere un depósito bajo condiciones salobres, de someras a intermareales, en un ambiente fangoso. Además, esta zona contiene frecuentes caparazones de las especies indígenas dominantes rellenos de pirita. Según Cearreta *et al.* (2002a) los metales pesados de esta zona presentan valores próximos o inferiores a los valores del fondo geoquímico local por debajo de intercalaciones de materiales aparentemente no contaminados. Este aumento de las concentraciones es consecuencia de un incremento en los aportes antropogénicos, relacionados con el desarrollo urbano e industrial del área próxima. En tanto, las intercalaciones de sedimentos aparentemente no contaminados parecen reflejar más la existencia de cambios en las velocidades de depósito y/o los efectos de una avenida de sedimentos no contaminados (debido a inundaciones o a actividades de dragado en áreas próximas menos contaminadas) que el cese esporádico de los aportes de contaminantes.

La AF1, desde -0,42 m a +0,43 m, contiene un número muy bajo de individuos/15 g (media 6, rango 0-15) y de especies (media 2, rango 0-4) que son considerados como caparazones transportados. Esta zona representa unas condiciones ambientales hostiles similares a las que se presentan hoy día en la zona superior del estuario (Capítulo 4). En cuanto a los metales pesados, aparece un marcado enriquecimiento sobre los -0,40 m coincidente con el cambio microfaunístico (Cearreta *et al.*, 2002a).

Por lo tanto, los datos de este sondeo demuestran que la moderada contaminación observada en Cearreta *et al.* (2000) en los 50 cm superficiales de la columna de sedimento en Zorroza, también afecta a los primeros 4 m de la secuencia sedimentaria.

3.3.b) Sondeo de Percusión Asua (PCA)

Este sondeo fue obtenido en una llanura intermareal del estuario medio, donde el afluente Asua

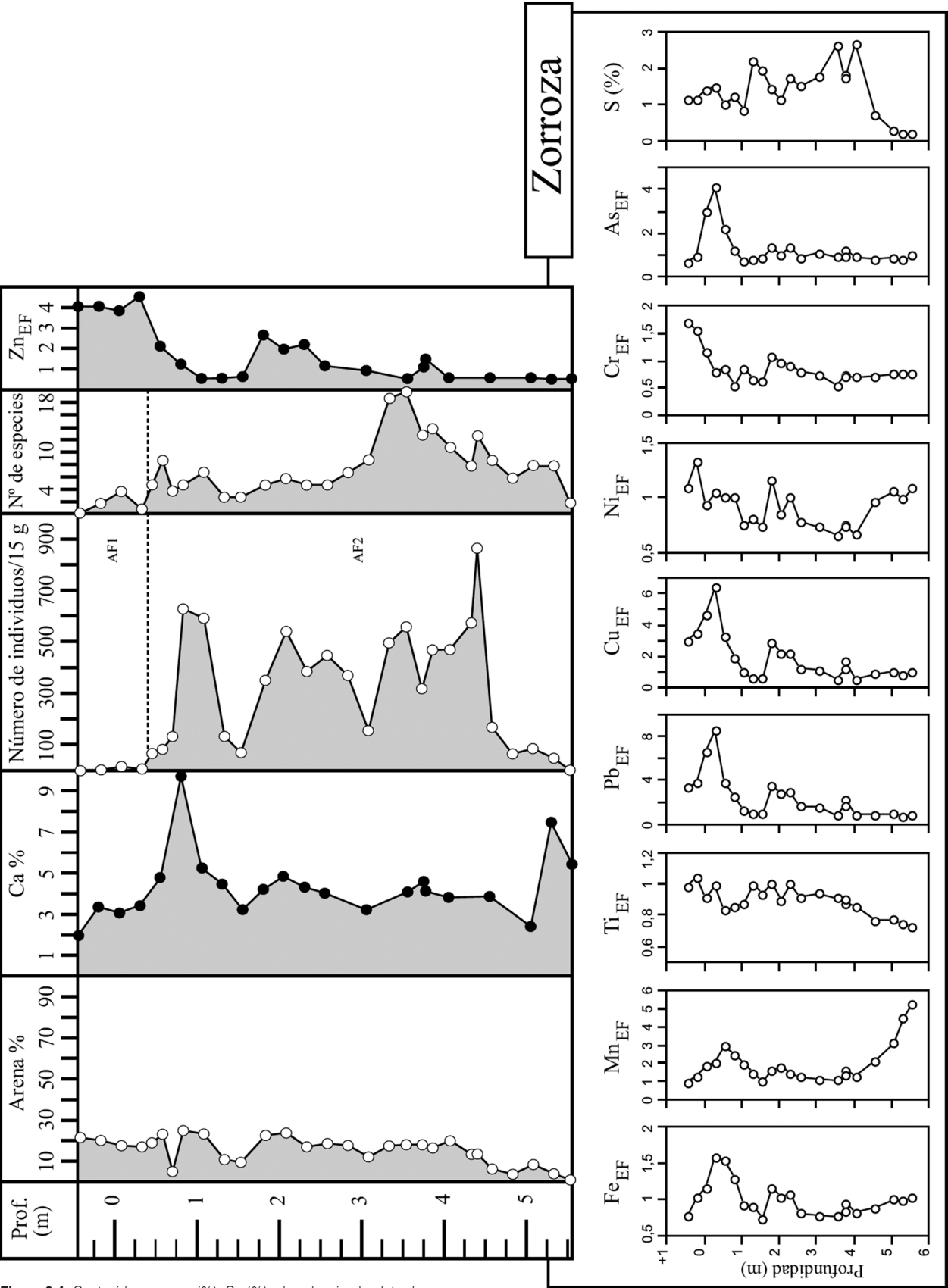


Figura 3-4: Contenido en arena (%), Ca (%), abundancia absoluta de caparzones y especies de foraminíferos, zonas basadas en la abundancia de foraminíferos y concentraciones de elementos con la profundidad (m) en el sondeo de perforación Zorroza (Ría de Bilbao). E.F.= factor de enriquecimiento. Las Asociaciones de Foraminíferos (AF) aparecen indicadas.

descarga en el cauce principal (Figuras 3-5 y 3-2). Se ubica a +0,64 m sobre el nivel local del mar. Presenta 6 m de longitud, aunque los 22 cm más altos no fueron recuperados y está formado por arena fangosa, negra y maloliente. Desde la base del sondeo hasta los -2,36 m aparecen abundantes fragmentos de madera.

En total, 5790 caparazones de foraminíferos y 72 especies (Apéndice 3-A) se han encontrado en las 23 muestras analizadas. En base a su contenido en foraminíferos, se pueden distinguir 3 Asociaciones de Foraminíferos (AF) diferentes (Figura 3-6 y Tabla 3-2).

En primer lugar, AF3, desde -5,36 m a -3,31 m, con un número extremadamente abundante de foraminíferos (media 8550, rango 2701-22644 individuos/15 g) y un número muy elevado de especies (media 33, rango 30-38). Esta asociación está dominada por las especies *R. irregularis* (media 29%, rango 16-39%), *H. germanica* (media 16%, rango 9-28%), *C. lobatulus* (media 13%, rango 7-19%) y *A. tepida* (media 11%, rango 7-20%). También presenta un predominio de caparazones hialinos (media 93%), una abundancia de foraminíferos exóticos muy elevada (media 61%, rango 42-71%) y un contenido medio en arena de 51%. Se puede interpretar como un medio marino proximal, somero a intermareal, con alta energía relativa. Contiene de manera regular caparazones de las especies indígenas dominantes rellenos de pirita.

En segundo lugar, la AF2, desde -3,31 m a -0,38 m, presenta un número extremadamente elevado de individuos/15 g (media 1192, rango 167-2488) y muy elevado de especies (media 28, rango 16-38), con las siguientes especies dominantes: *H. germanica* (media 32%, rango 17-54%), *C. lobatulus* (media 17%, rango 4-37%), *A. tepida* (media 12%, rango 8-17%) y *R. irregularis* (media 10%, rango 5-25%). También muestra una gran abundancia de caparazones hialinos (media 93%), una presencia modera-

da de foraminíferos exóticos (media 41%, rango 20-60%) y la media de contenido en arena es de 53%. Comparada con la asociación inferior, esta asociación superior sugiere un medio somero a intermareal más salobre, aunque todavía bajo condiciones de alta energía relativa. También presenta frecuentes caparazones de foraminíferos de las especies indígenas dominantes rellenos de pirita.

Por último, la zona superior (AF1), desde -0,38 m hasta la superficie, contiene un número muy bajo de individuos/15 g (media 8, rango 3-18) y especies (media 5, rango 3-8), que son considerados como caparazones transportados. Esta asociación parece representar condiciones medioambientales degradadas, similares a las presentes en el estuario actual. El contenido medio en arena es de 18%.

Los resultados de los análisis de metales pesados descritos en Cearreta *et al.* (2002a) muestran los cuatro metros inferiores del sondeo con valores similares al nivel geoquímico regional de fondo (Figura 3-6), con un enriquecimiento para la mayoría de los metales pesados en las muestras de la parte superior del sondeo, coincidiendo con el descenso en el número de foraminíferos. El marcado descenso en las concentraciones de metales pesados por debajo de -0,70 m, sugiere la existencia de una excavación artificial de la superficie, probablemente causada por los frecuentes dragados llevados a cabo para prevenir la significativa sedimentación y para minimizar los riesgos de inundaciones. Por tanto, el detrimento en el contenido de foraminíferos y el aparente incremento gradual en metales pesados que se observa en la parte superior del sondeo, parece más un efecto provocado por la mezcla mecánica entre sedimentos pre-industriales y materiales fuertemente contaminados durante las operaciones de dragado que la consecuencia de un continuo incremento en el nivel de industrialización.

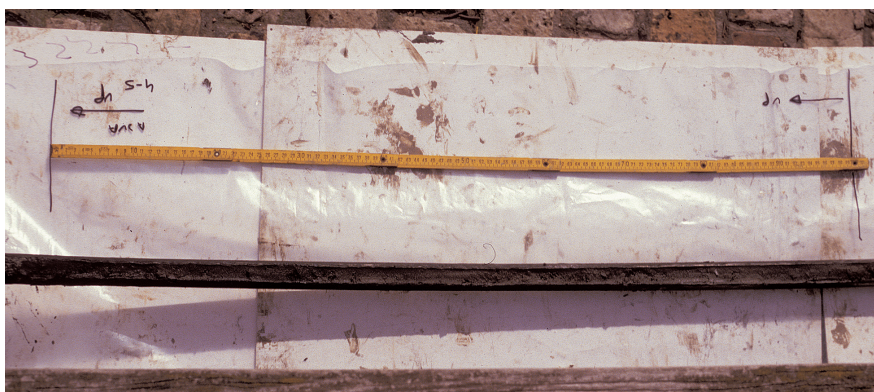
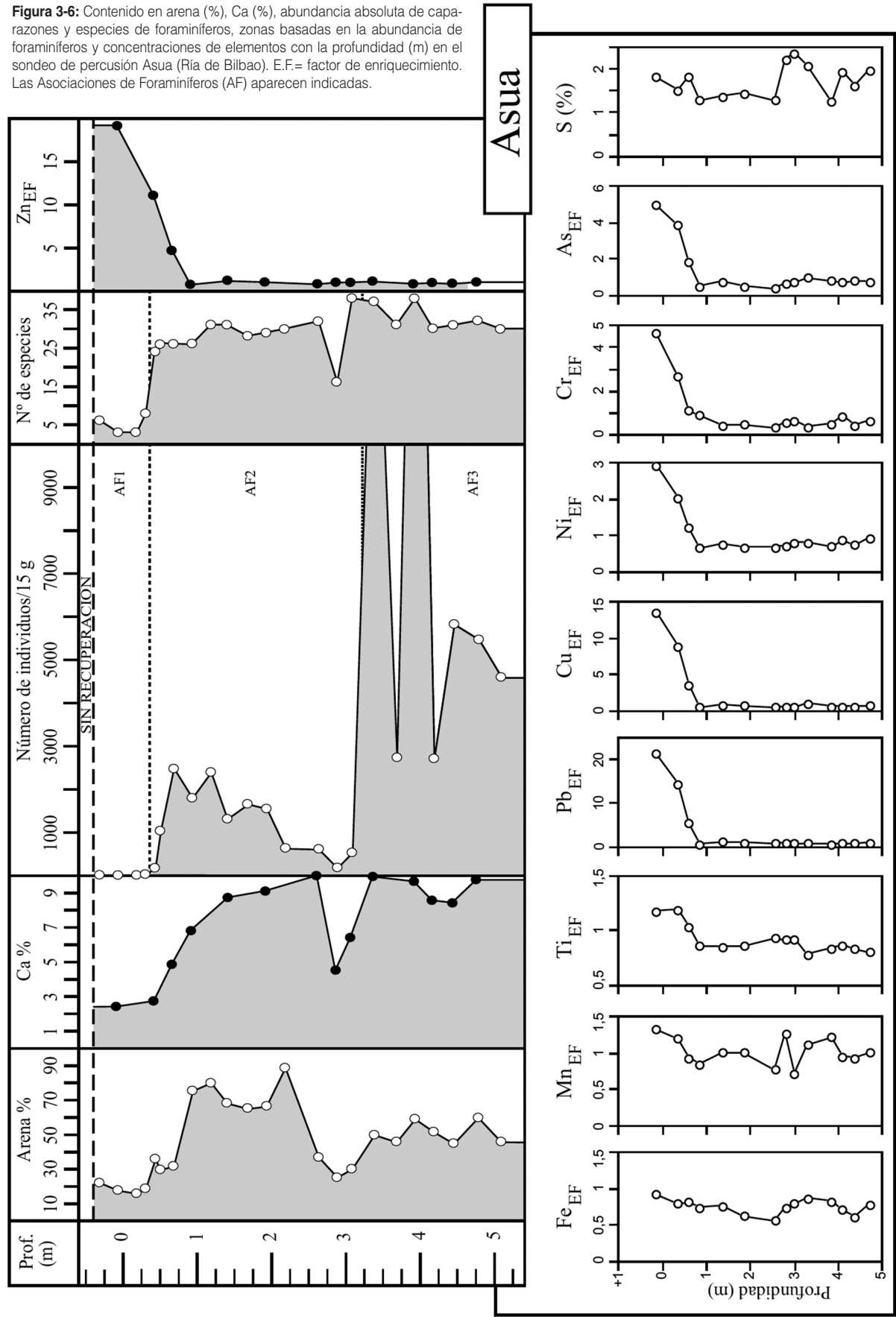


Figura 3-5: Detalle del testigo obtenido en la perforación realizada en Asua (PCA).

Figura 3-6: Contenido en arena (%), Ca (%), abundancia absoluta de caparzones y especies de foraminíferos, zonas basadas en la abundancia de foraminíferos y concentraciones de elementos con la profundidad (m) en el sondeo de percusión Asua (Ría de Bilbao). E.F.= factor de enriquecimiento. Las Asociaciones de Foraminíferos (AF) aparecen indicadas.



3.3.c) Sondeo de Percusión Erandio (PCE)

Esta secuencia sedimentaria fue obtenida en una llanura intermareal de la parte media del estuario (Figuras 3-7 y 3-2), localizada a +0,716 m sobre el nivel del mar local. Se obtuvieron 8 m de longitud, aunque los primeros 65 cm no pudieron ser recuperados. El testigo está compuesto por arena fangosa, negra y maloliente.

En total, se encontraron 3736 caparazones de foraminíferos y 56 especies (Apéndice 3-A) en las 34 muestras analizadas. En base a su contenido en foraminíferos, se pueden distinguir dos Asociaciones de Foraminíferos (AF) en el sondeo (Figura 3-8 y Tabla 3-2).

Una AF2 basal, desde -7,28 m a -4,63 m, con una abundancia muy elevada de foraminíferos (media 405, rango 62-1001 individuos/15 g) y un moderado número de especies (media 20, rango 12-27). Esta zona está dominada por las especies *A. tepida* (media 43%, rango 23-60%), *H. germanica* (media 22%, rango 3-24%) y *C. oceanensis* (media 10%,

rango 3-24%), junto con las siguientes especies secundarias: *C. lobatulus* (media 5%, rango 1-10%) y *R. irregularis* (media 5%, rango 1-9%). Así mismo, presenta un predominio de caparazones de naturaleza hialina (media 95%), una abundancia muy baja de foraminíferos exóticos (media 19%, rango 5-26%) y el contenido medio en arena es de 42%. Se interpreta como un medio arenoso, salobre y de carácter somero a intermareal. Esta zona presenta frecuentes caparazones de foraminíferos indígenas de las especies dominantes rellenos de pirita.

La AF1 superior, desde -4,63 m hasta la superficie, contiene un número muy bajo de individuos/15 g (media 12, rango 0-71) y de especies (media 4, rango 0-11) que son considerados caparazones transportados. Esta zona representa condiciones de un medio persistentemente degradado en el área estudiada. El contenido medio en arena es de 16%.

Contrariamente a lo esperado debido a la longitud del sondeo (8 m), todas las muestras recogidas en Erandio presentan contenidos en metales significativamente altos respecto al nivel geoquímico regional de fondo. Como se observaba en Asua (Figura 3-6), el marcado incremento en metales pesados y en As coincide con una dramática reducción en el contenido de foraminíferos. Aunque estas tendencias parecen reflejar un cambio ambiental gradual, también pueden deberse a una mezcla mecánica de sedimentos con diferentes niveles de contaminación durante las operaciones de dragado.

3.3.d) Sondeo de Percusión Galindo (PCGa)

Este sondeo fue perforado en una llanura intermareal de la zona media del estuario, donde el afluente Galindo desemboca en el cauce principal (Figuras 3-9 y 3-2). Se localiza a +1,905 m sobre el nivel local del mar. Tiene 10 m de longitud, aunque la sección entre +1,17 m y +0,74 m no pudo ser recuperada. Está constituido por fango arenoso, negro y maloliente. Entre -4,99 m y -4,74 m aparecen algunas gravas. El contenido en arena es bajo a lo largo del sondeo con una media de 13% y un rango de 0,5-49%.

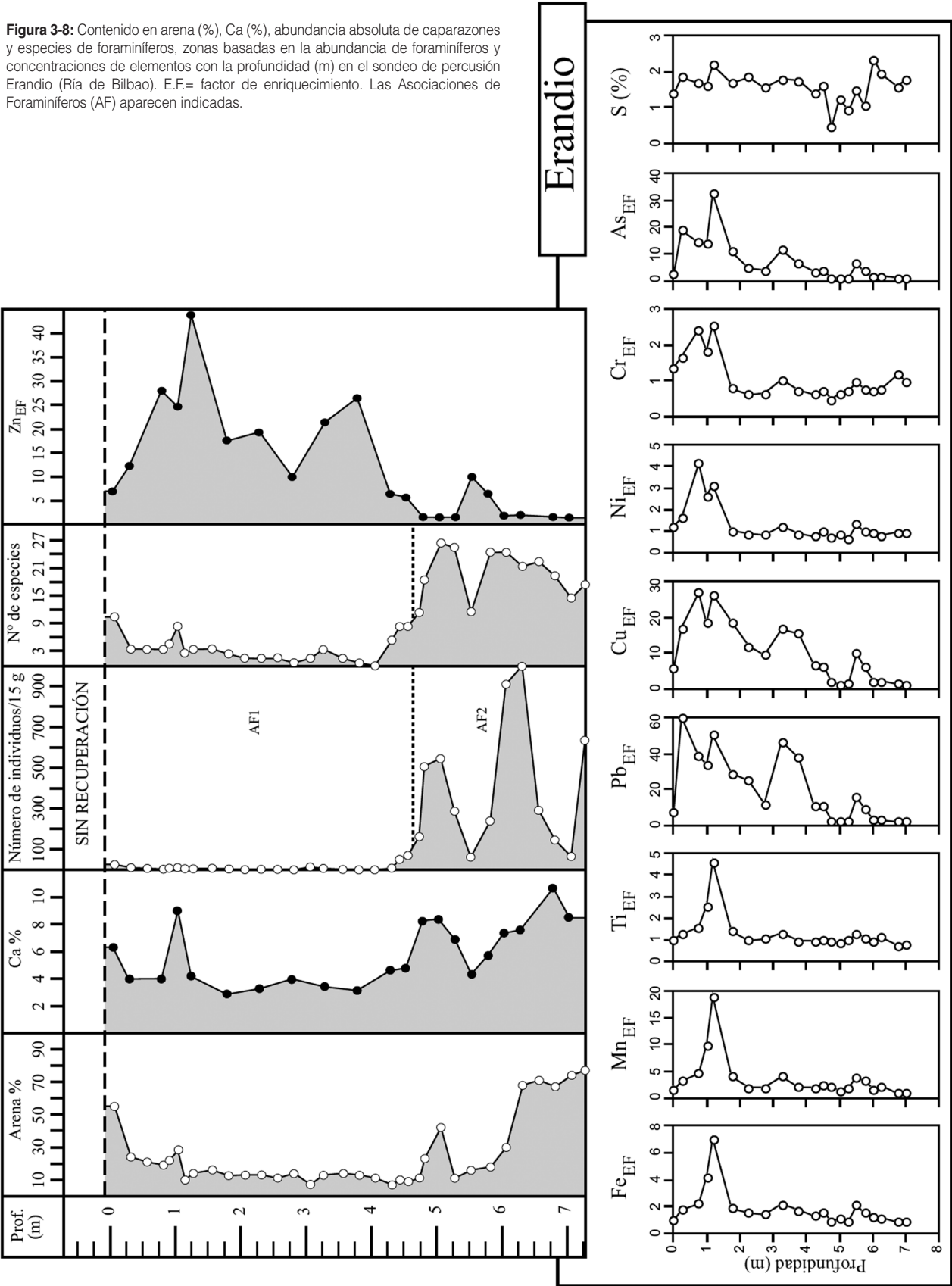
En total, 4767 caparazones de foraminíferos y 58 especies (Apéndice 3-A) fueron encontrados en las 41 muestras analizadas. En base a la abundancia de foraminíferos, se pueden distinguir dos AF dentro del sondeo (Figura 3-10 y Tabla 3-2).

La AF2 basal, desde -8,09 m a -4,70 m, caracterizada por la presencia extremadamente abundante de foraminíferos (media 1103, rango 79-2678 indivi-



Figura 3-7: Detalle de la perforación en el área de Erandio (PCE).

Figura 3-8: Contenido en arena (%), Ca (%), abundancia absoluta de caparzones y especies de foraminíferos, zonas basadas en la abundancia de foraminíferos y concentraciones de elementos con la profundidad (m) en el sondeo de percusión Erandio (Ría de Bilbao). E.F.= factor de enriquecimiento. Las Asociaciones de Foraminíferos (AF) aparecen indicadas.



duos/15 g), y un moderado número de especies (media 20, rango 12-29).

Esta zona está dominada por las especies *H. germanica* (media 36%, rango 22-52%), *A. tepida* (media 31%, rango 21-57%) y *C. oceanensis* (media 7%, rango 3-12%), junto con las especies secundarias *R. irregularis* (media 5%, rango 0-12%) y *B. britannica* (media 5%, rango 1-11%). También presenta un completo predominio de caparazones hialinos (media 97%) y una abundancia muy baja de foraminíferos exóticos (media 14%, rango 3-29%). Esta asociación sugiere un ambiente fangoso, salobre y con una profundidad somero a intermareal. Contiene frecuentes rellenos de pirita en los caparazones de las especies indígenas dominantes, de ahí, la buena correlación entre el Ca y el S (Cearreta *et al.*, 2002a).

La AF1, desde -4,70 m a +1,90 m, contiene un número muy bajo de individuos/15g (media 6, rango 0-57) y de especies (media 2, rango 0-11), que se consideran caparazones transportados. Esta zona representa el depósito de sedimentos bajo unas condiciones de escasa calidad ambiental en este área estuarina.

La evolución vertical en los patrones de los metales pesados y del As en Galindo son muy similares a los encontrados en Erandio (Cearreta *et al.*, 2002a), con un enriquecimiento general a lo largo de todo el sondeo (Figura 3-10). Sobre los -4,70m aparece un

marcado incremento, que coincide con la desaparición de los foraminíferos. Así mismo, también se observa un enriquecimiento general en Fe (máx EF= 3,7) en los sedimentos de la parte superior del sondeo, presumiblemente relacionado con las enormes descargas antropogénicas derivadas de la explotación local de hierro y de las fundiciones metálicas en el río Galindo y en la Ría de Bilbao en general.

3.3.e) Sondeo de Percusión Simondrogas (PCS)

Este sondeo se obtuvo en una llanura intermareal del estuario medio, localizado a +1,395 m sobre el nivel local del mar (Figuras 3-11 y 3-2). Presenta 10 m de longitud, y está formado por fango arenoso, negro y maloliente.

En total, se extrajeron 2493 caparazones de foraminíferos y 32 especies (Apéndice 3-A) en las 44 muestras analizadas. En base al contenido en foraminíferos, se pueden distinguir dos Asociaciones de Foraminíferos diferentes en este sondeo (Figura 3-12 y Tabla 3-2).

La AF2 basal, desde -8,60 m a - 7,12 m, tiene un contenido muy elevado de foraminíferos (media 476, rango 182-977 individuos/15 g) y un moderado número de especies (media 17, rango 15-19). Esta división parece coincidir con los datos obtenidos del estudio geoquímico, ya que a -7,12 m se observa un fuerte cambio composicional.



Figura 3-9: Vista general de la zona de muestreo en Galindo. El sondeo PCGa se realizó en la orilla izquierda de la ría.

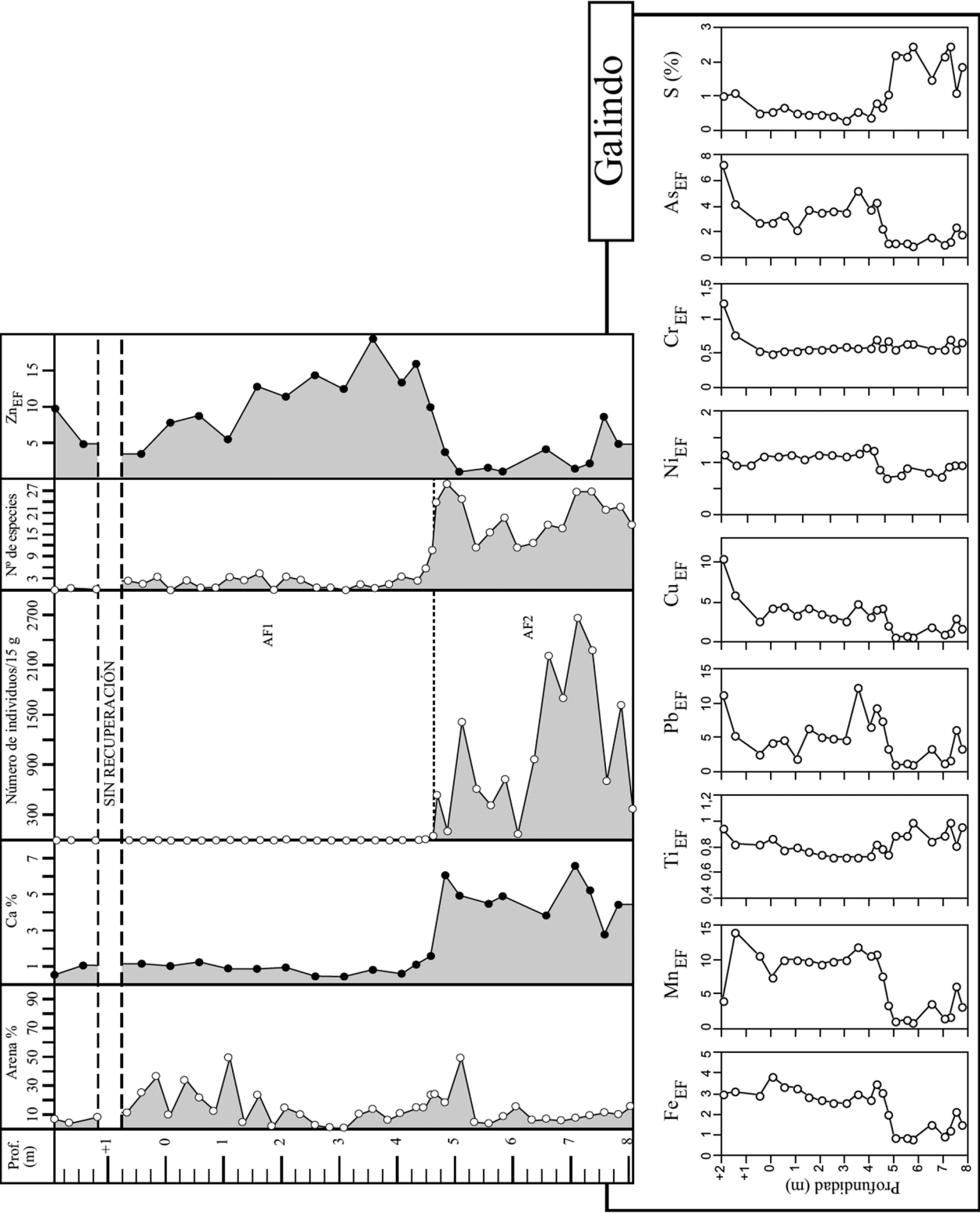


Figura 3-10: Contenido en arena (%), Ca (%), abundancia absoluta de caparazones y especies de foraminíferos, zonas basadas en la abundancia de foraminíferos y concentraciones de elementos aparecen con la profundidad (m) en el sondeo de percusión Galindo (Ría de Bilbao). E.F.= factor de enriquecimiento. Las Asociaciones de Foraminíferos (AF) aparecen indicadas.



Figura 3-11: Detalle de la perforación en la zona de Simondrogas (PCS), con Erandio al fondo.

Esta zona está dominada por las especies *C. lobatulus* (media 41%, rango 29-52%), *A. tepida* (media 23%, rango 18-31%) y *H. germanica* (media 13%, rango 8-20%), y como especies secundarias aparecen *R. anomala* (media 8%, rango 5-9%) y *R. irregularis* (media 4%, rango 5-9%). También presenta un dominio de los caparazones hialinos (media 96%), una elevada abundancia de foraminíferos exóticos (media 60%, rango 44-69%) y la media de contenido en arena es de 70%. Esta asociación sugiere un medio marino-proximal, somero a intermareal y de alta energía. Esta zona presenta frecuentes caparazones de foraminíferos de las especies indígenas dominantes con relleno de pirita, coincidente con elevados niveles de S (Cearreta *et al*, 2002a). Así mismo, los sedimentos presentan un elevado componente carbonatado y los niveles de los metales pesados se encuentran próximos a los niveles de fondo geoquímico.

La AF1, desde -7,12 m a +1,39 m, contiene un número muy bajo de individuos/15g (media 6, rango 0-29) y de especies (media 2, rango 0-7) que han sido considerados como caparazones transportados. Esta zona, donde el contenido medio en arena es de 18,4%, representa un gran volumen de sedimentos depositados bajo unas condiciones ambientales muy degradadas en el estuario inferior. Con respecto a la zona basal, estos sedimentos de grano fino muestran un incremento en los valores de los metales pesados, con concentraciones claramente enriquecidas en Fe. Al igual que ocurre en Galindo (unos cientos de metros corriente arriba, Figura 3-2), niveles altos de este metal parecen confirmar la influencia de la minería de hierro y de la industria del acero locales (Cearreta *et al*, 2002a).

3.3.f) Sondeo de Percusión Gobelos (PCGb)

Este sondeo se obtuvo en una llanura intermareal del estuario inferior, donde el afluente Gobelos descarga en el canal principal (Figuras 3-13 y 3-2). Está localizado a +0,755 m sobre el nivel del mar local. Tiene 8 m de longitud, aunque los primeros 48 cm y la sección entre -2,34 m y -1,97 m no se pudieron recuperar. Está formado por arena fangosa, negra y maloliente.

En total, 9418 caparazones de foraminíferos y 89 especies (Apéndice 3-A) fueron encontrados en las 36 muestras analizadas. En base al contenido de foraminíferos, se pueden distinguir tres Asociaciones de Foraminíferos diferentes en este sondeo (Figura 3-14, Tabla 3-2).

En primer lugar, la asociación inferior (AF3), desde -7,25 m a -2,65 m, con caparazones de foraminíferos extremadamente abundantes (media 1094, rango 32-4656 individuos/15 g) y un número muy elevado de especies (media 26, rango 19-33). Esta asociación está dominada por las especies *A. tepida* (media 35%, rango 22-55%), *H. germanica* (media 16%, rango 8-24%), *C. lobatulus* (media 14%, rango 4-28%) y *R. irregularis* (media 13%, rango 5-23%), junto a la especie secundaria *C. oceanensis* (media 5%, rango 0-14%). Presenta un elevado predominio de caparazones hialinos (media 95%), una abundancia moderada de foraminíferos exóticos (media 39%, rango 13-65%) y un contenido medio en arena de 45%. Esta asociación es indicativa de un medio salobre, de somero a intermareal y de alta energía. Se presentan regularmente en esta asociación caparazones de las especies indígenas dominantes rellenos de pirita.

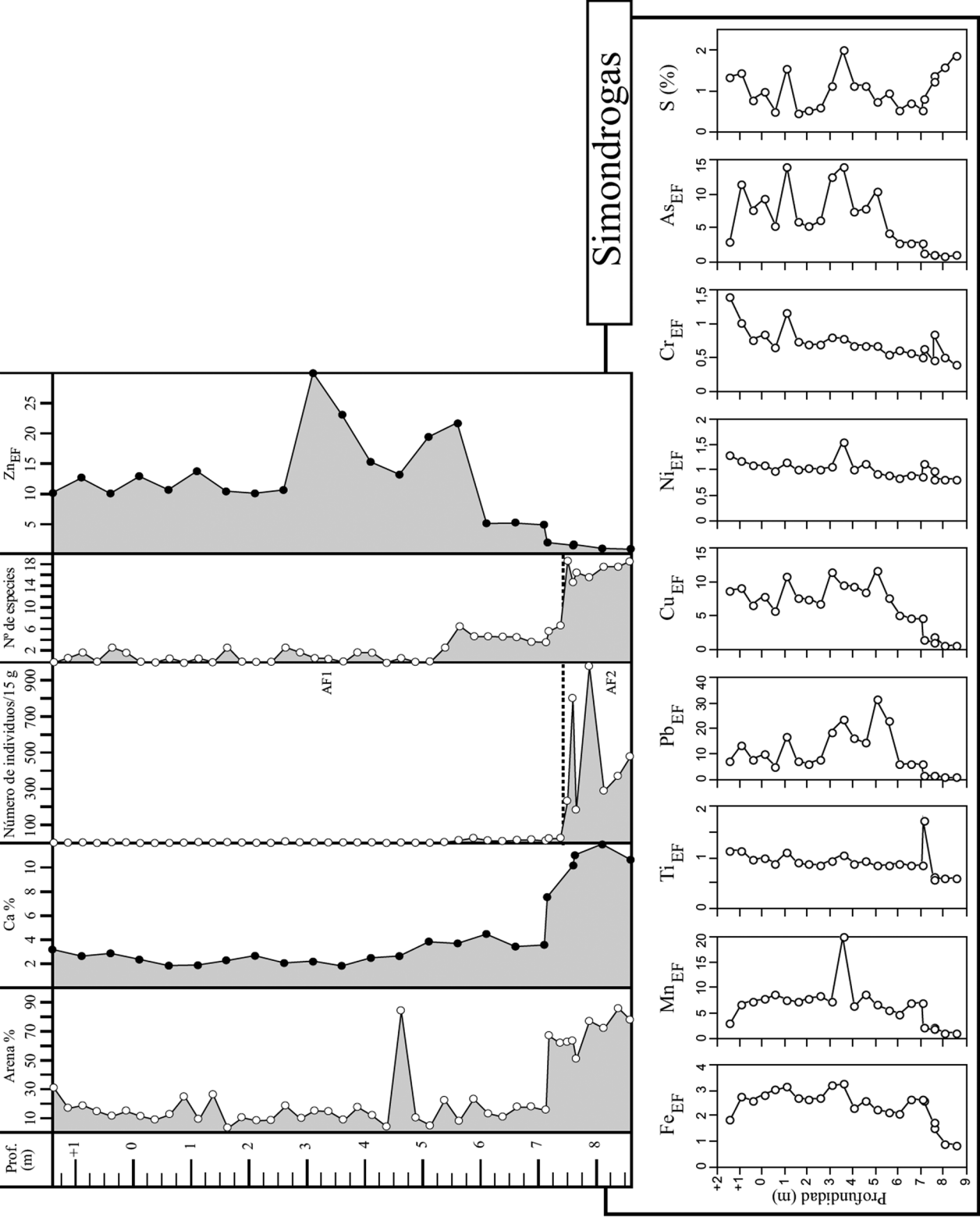


Figura 3-12: Contenido en arena (%), Ca (%), abundancia absoluta de caparazones y especies de foraminíferos, zonas basadas en la abundancia de foraminíferos y concentraciones de elementos con la profundidad (m) en el sondeo de percusión Simondrogas (Ría de Bilbao). E.F.= factor de enriquecimiento. Las Asociaciones de Foraminíferos (AF) aparecen indicadas.

En segundo lugar, la AF2, desde -2,65 m a -0,64 m, contiene un elevado número de individuos/15 g (media 188, rango 0-252) y un elevado número de especies (media 23, rango 0-32), con las siguientes especies dominantes: *A. tepida* (media 29%, rango 0-80%), *H. germanica* (media 11%, rango 0-24%) y *C. lobatulus* (media 10%, rango 0-26%), y como especies secundarias *R. irregularis* (media 6%, rango 0-16%) y *C. oceanensis* (media 4%, rango 0-11%). También presenta un gran predominio de caparazones hialinos (media 94%), una abundancia moderada de foraminíferos exóticos (media 25%, rango 0-52%) y un contenido medio de arena de 77%. Esta asociación es interpretada como un depósito sedimentario en un medio arenoso, salobre y en condiciones de profundidad de someras a intermareales. Contiene un menor número de foraminíferos con respecto a la asociación inferior y presenta un patrón vertical similar al que aparecía en Simondrogas para el Ca, por debajo de los -0,75 m los sedimentos son ricos en carbonato (Figura 3-14). La mayoría de los metales pesados muestran valores de fondo por debajo de -3,75 m, con un ligero enriquecimiento entre -3,75 m y -2,50 m (Cearreta *et al.*, 2002a).

Por último, la zona superior (AF1), desde -0,64 m hasta la superficie, contiene un número bajo de individuos/15 g (media 22, rango 0-69), que son consi-

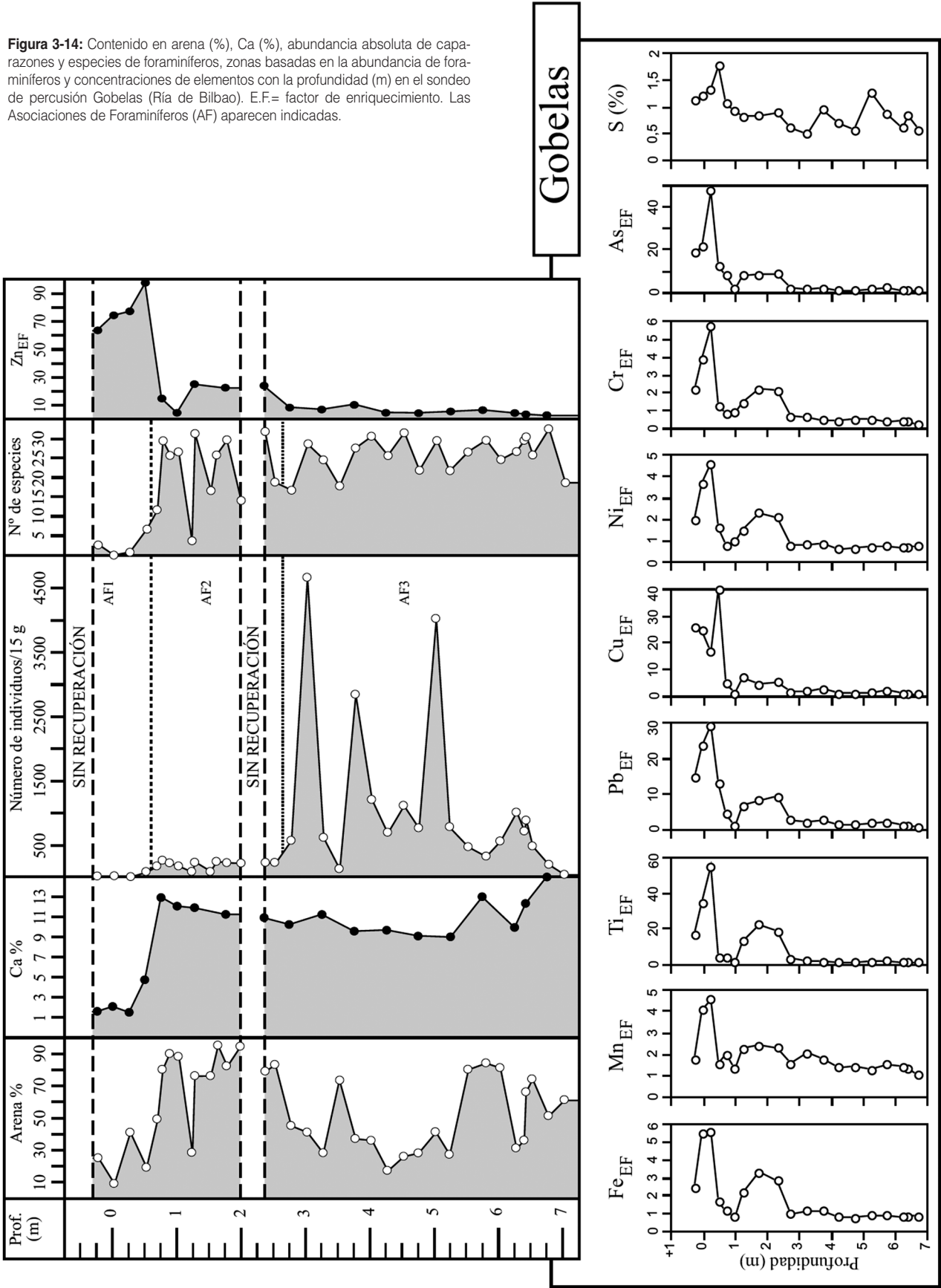
derados caparazones transportados, un número muy bajo de especies (media 3, rango 0-7) y el contenido medio en arena es de 23%. Esta zona representa unas condiciones ambientales muy hostiles, similares a las que se encuentran hoy a lo largo del estuario. Coincidente con este declive en la abundancia de los foraminíferos, aparece un intervalo con un significativo incremento en la mayoría de los metales pesados (Cearreta *et al.*, 2002a).

Es importante señalar que los contenidos en Ti se mantienen próximos a los valores pre-industriales en la mayoría de los sondeos analizados, excepto en el sondeo Gobelas donde este metal presenta una concentración extremadamente alta por encima de -2,65 m de profundidad (Figura 3-14). Este enriquecimiento es debido a la proximidad de una planta de producción de TiO_2 que ha provocado una enorme contaminación por Ti durante décadas recientes (1951-1986). En un depósito continuo de sedimentos, la primera aparición debería recoger el inicio de la actividad en esta planta a partir de 1951. Sin embargo, los intensos dragados realizados en esta ría han podido destruir este límite temporal. En cualquier caso, al menos es posible confirmar que los 3,25 m superiores del sondeo han sido depositados en menos de 50 años, sugiriendo una velocidad de sedimentación extremadamente rápida en este estuario contaminado.



Figura 3-13: Detalle de la perforación en la zona de desembocadura del Gobelas. El sondeo de percusión PCGb se realizó a la derecha del dique.

Figura 3-14: Contenido en arena (%), Ca (%), abundancia absoluta de caparzones y especies de foraminíferos, zonas basadas en la abundancia de foraminíferos y concentraciones de elementos con la profundidad (m) en el sondeo de percusión Gobelas (Ría de Bilbao). E.F.= factor de enriquecimiento. Las Asociaciones de Foraminíferos (AF) aparecen indicadas.



3.4. Discusión

En base a la combinación de los resultados obtenidos a partir de los indicadores microfaunísticos y geoquímicos, es posible distinguir tres zonas ambientales diferentes dentro del registro sedimentario reciente de la Ría de Bilbao (Figura 3-15). En primer lugar, una **zona pre-industrial** con un contenido en foraminíferos muy abundante y niveles geoquímicos de fondo para los metales. Este nivel ha sido identificado en Zorroza (AF2), Asua (AF3/AF2), Simondrogas (AF2) y Gobelas (AF3). En segundo lugar, la **zona industrial antigua** (zona industrial con microfauna) caracterizada por la coexistencia de foraminíferos abundantes junto con elevados niveles de algunos metales pesados. Este nivel ha sido identificado en Zorroza (AF2), Erandio (AF2), Galindo (AF2) y Gobelas (AF2). Finalmente, la **zona industrial reciente** (zona industrial sin microfauna) definida por unas concentraciones extremadamente altas de metales y un número muy reducido de caparazones de foraminíferos. Este nivel más alto se puede encontrar a diferentes profundidades y con una gran variabilidad de espesores en todos los sondeos (AF1 de todos los sondeos).

3.4.a) El registro sedimentario en la Ría de Bilbao: época pre-industrial

Los materiales de la zona pre-industrial (sedimentos con niveles de metales similares al fondo geoquímico) se han encontrado tanto en la zona superior como en la inferior de la Ría de Bilbao (Figura 1-6). Sin embargo, no se ha podido muestrear en la zona media del estuario (Figura 3-15), probablemente debido a las intensas operaciones de dragado desarrolladas en este área (alcanzando mayor profundidad) donde la industria y las actividades marítimas se han concentrado históricamente con más intensidad. Las asociaciones de foraminíferos encontradas en esta zona pre-industrial son idénticas a las estudiadas en el registro sedimentario holoceno de este estuario (Capítulo 2), con una asociación indígena básica formada por las especies dominantes *A. tepida*/*H. germanica* y como especie secundaria *C. oceanensis*, junto con un incremento en los porcentajes de foraminíferos exóticos (principalmente *C. lobatulus* y *R. irregularis*) desde el estuario superior hasta el inferior. En general, el número de individuos es muy alto en esta zona pre-industrial y la diversidad de especies se incrementa hacia la desembocadura del estuario, debido al incremento en la abundancia de foraminíferos exóticos. Por otra parte,

la concentración de metales pesados y de As en estos sedimentos es similar a los resultados obtenidos en los análisis de los sondeos profundos del Holoceno de este mismo estuario (una vez ajustado el efecto derivado de las diferencias en el tamaño de grano del sedimento; Cearreta *et al.*, 2002a). Esta zona pre-industrial contiene caparazones de foraminíferos indígenas de las especies dominantes rellenos con pirita diagenética. En este sentido, cabe reseñar que la formación de pirita autigénica está controlada principalmente por la disponibilidad de Fe reactivo, sulfato y materia orgánica (Berner, 1984; Varekamp, 1991), y que los ambientes de elevada salinidad pueden proveer del adecuado aporte de S para permitir la precipitación de este mineral (Thomas y Varekamp, 1991).

3.4.b) El registro sedimentario en la Ría de Bilbao: periodo industrial

En el registro sedimentario correspondiente al periodo industrial (es decir, con elevadas concentraciones de metales), es posible diferenciar dos zonas (Figura 3-15): una primera zona industrial antigua, caracterizada por la coexistencia de una abundante asociación de foraminíferos con altos niveles de metales, y una segunda zona industrial reciente con niveles extremadamente altos de metales y desprovista de foraminíferos indígenas.

En los sondeos de percusión donde la zona industrial antigua (Zorroza y Gobelas) yace sobre la zona pre-industrial, sus respectivas asociaciones de foraminíferos son similares entre sí en términos de especies dominantes. Sin embargo, la zona industrial antigua presenta un menor número de individuos y de especies en comparación con la asociación pre-industrial. Este efecto se ha observado también en otras áreas costeras contaminadas (Yanko *et al.*, 1994). La falta de dataciones hace imposible determinar si ambas zonas son continuas en el tiempo o, por el contrario, están separadas temporalmente debido a los intensos dragados efectuados a lo largo del estuario desde el siglo XIX. En Galindo y Erandio, donde la zona industrial antigua ocupa la parte basal de los sondeos y donde no se ha podido obtener registro pre-industrial, la asociación de foraminíferos es muy abundante, el número de especies es moderado y las especies dominantes son similares a las encontradas en el registro pre-industrial del estuario. Esta zona industrial antigua indica claramente que, durante un cierto periodo de tiempo, una asociación normal de foraminíferos

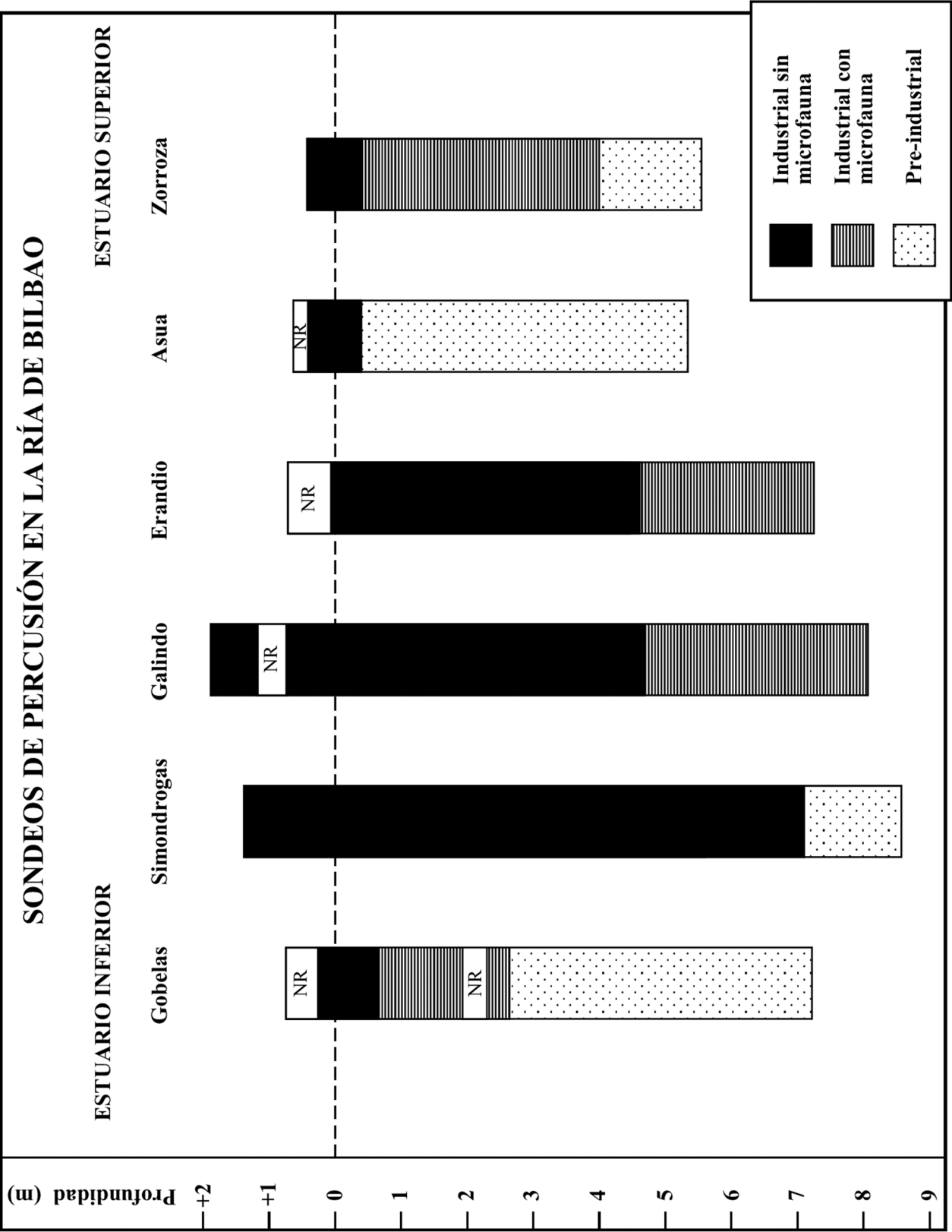


Figura 3-15: Interpretación ambiental de los sondeos de percusión de la Ría de Bilbao basada en la combinación de los resultados microfaunísticos y geoquímicos. N.R.= sin recuperación.

pudo vivir y reproducirse en un medio estuarino moderadamente contaminado, periodo que probablemente corresponda a la primera parte del desarrollo industrial en este estuario (periodo 1850-1950), como se puede deducir del registro histórico escrito (García-Merino, 1987). Esta zona industrial más antigua contiene también caparzones de foraminíferos de las principales especies indígenas con relleno de piritita diagenética (factor característico de la zona pre-industrial).

Por otra parte, la zona industrial reciente se presenta como un manto cubriendo la parte superior de todos los sondeos, aunque el espesor de esta zona altamente contaminada varía ampliamente a lo largo del estuario. Los volúmenes más grandes de este “manto contaminado” se encuentran en el estuario medio, donde las actividades de dragado han sido históricamente más intensas (Figura 3-15). Esta zona corresponde temporalmente a la segunda parte del desarrollo industrial en la Ría de Bilbao (periodo 1950-2000), cuando la cantidad de aportes urbanos e industriales al estuario alcanza su máximo, provocando un mínimo en los niveles de oxígeno y concentraciones extremadamente altas de metales y materia orgánica. Como consecuencia, se produjo una completa extinción de los foraminíferos indígenas, seguida de una degradación de las condiciones ambientales en el estuario que han persistido hasta la actualidad (Capítulos 4 y 5).

Las elevadas concentraciones de metales pesados y As encontradas en el estudio geoquímico de estos sondeos reflejan la intensa degradación ambiental de la Ría de Bilbao. No obstante, los resultados obtenidos muestran una considerable variabilidad espacial, incluso cuando las muestras se toman en sondeos adyacentes (Tabla 3-1). Los niveles más bajos de enriquecimiento en metales se encontraron en la zona superior del estuario (Zorroza), mientras que los valores más altos aparecen en la parte media (Erandio). Esta distribución heterogénea refleja la proximidad a los puntos de vertidos contaminantes, que descargan directamente sobre el estuario o en los tramos inferiores de los cuatro tributarios principales. Relacionado con esto, es importante resaltar la abundancia de foraminíferos coexistentes con elevadas concentraciones de metales pesados en la zona industrial antigua de Erandio mientras que, por el contrario, están ausentes en la zona industrial reciente de Zorroza que presenta niveles inferiores de contaminación por metales. Este hecho apoya la idea de

que el nivel de oxígeno es el factor clave en la explicación de la completa extinción de la biota de la Ría de Bilbao, tal y como se refleja en la zona industrial reciente, aunque los elevados niveles de contaminación también contribuyen a la severa degradación histórica de este ecosistema (Sáiz-Salinas *et al.*, 1996; Cearreta *et al.*, 2000). Las variaciones en las concentraciones de los metales según la profundidad dentro de los sondeos pueden ser consecuencia de la variación en los aportes antropogénicos, de las reacciones diagenéticas tempranas y del retrabajamiento físico de los sedimentos. Desafortunadamente, no existen archivos históricos detallados que podrían documentar tendencias temporales en los flujos antropogénicos hacia la Ría de Bilbao. En cualquier caso, la distribución vertical de los metales en los sondeos estudiados sugiere que, históricamente, las concentraciones de Zn, Pb, y Cu (y probablemente As) comienzan a crecer tempranamente en el estuario, seguidas posteriormente por el Cr y Ni.

3.5. Conclusiones

Los seis sondeos perforados en las llanuras mareales de la Ría de Bilbao reflejan el extenso registro de los aportes antropogénicos en este medio. Estos aportes han provocado la desaparición de la microfauna indígena como consecuencia de la significativa contaminación en los sedimentos. Es posible diferenciar tres zonas en el registro sedimentario reciente. La zona inferior, en la que se reflejan las condiciones estuarinas pre-industriales, está caracterizada por asociaciones de foraminíferos biodiversas y abundantes con un nivel de metales pesados similar o inferior al nivel geoquímico de fondo. La segunda zona, la zona industrial antigua (periodo 1850-1950), está caracterizada por elevadas concentraciones de metales en el estuario que permitieron la existencia de asociaciones de foraminíferos relativamente abundantes. La tercera zona, la zona industrial reciente (periodo 1950-2000), está caracterizada por la desaparición de las asociaciones de foraminíferos, probablemente causada por niveles de oxígeno mínimos durante este periodo. Estas dos últimas zonas forman el registro sedimentario del periodo industrial. Los resultados obtenidos aportan una valiosa información a tener en cuenta de cara a la regeneración ambiental de la Ría de Bilbao, ya que los sedimentos han demostrado ser un gran almacén para los contaminantes y los foraminíferos.

Asociación de Foraminíferos		Fe	Mn	Ti	Zn	Pb	Cu	Ni	Cr	As
Sedimentos pre-industriales										
AF2-PCS	(n=47)									
AF2-PCA	Media	2.5±1.0	0.04±0.03	0.32±0.12	60±22	23±9	19±8	20±10	76±34	16±6
AF3	Rango	0.8-5.3	0.01-0.15	0.09-0.62	10-105	10-52	6-57	8-51	15-147	8-37
Sedimentos con influencia antropogénica										
Sondeo de Zorroza										
	(n=17)									
	Media	4.5±1.0	0.05±0.02	0.46±0.03	213±146	96±71	64±47	33±5	119±44	34±23
	Rango	3.3-6.8	0.03-0.09	0.36-0.50	77-516	25-284	15-182	25-43	61-236	16-100
Sondeo de Asua										
	(n=4)									
	Media	3.1±0.6	0.03±0.01	0.44±0.13	807±772	345±311	186±135	55±39	275±255	70±47
	Rango	2.4-3.8	0.03-0.04	0.29-0.57	100-183	139-727	25-393	22-106	53-617	26-126
Sondeo de Erandio										
AF1	(n=21)									
AF2-PCGb	Media	6.6±4.2	0.10±0.11	0.55±0.32	1061±980	662±604	272±225	40±26	126±65	161±179
AF2-PCGa	Rango	2.1-21.9	0.02-0.55	0.24-1.81	94-3361	44-1964	24-741	18-133	63-298	19-713
Sondeo de Galindo										
AF2-PCE	(n=23)									
AF2-PCZ	Media	9.9±4.0	0.21±0.12	0.42±0.04	782±578	162±113	91±66	39±11	84±22	72±42
	Rango	3.1-13.5	0.02-0.40	0.29-0.49	87-2028	28-439	14-313	23-60	55-172	20-189
Sondeo de Simondrogas										
	(n=21)									
	Media	10.5±2.9	0.20±0.11	0.45±0.10	1151±764	380±293	206±95	35±9	98±27	166±109
	Rango	3.7-14.2	0.05-0.58	0.18-0.63	91-2970	29-1147	21-366	17-60	42-156	17-365
Sondeo de Gobelas										
	(n=13)									
	Media	5.6±4.3	0.07±0.03	4.4±5.4	460±501	250±246	250±319	34±26	159±146	217±259
	Rango	1.3-15.1	0.04-0.13	0-27-18.3	42-1637	23-793	16-1071	11-92	30-530	24-951

Tabla 3-1: Abundancia de diferentes elementos químicos en los sondeos de percusión de la Ría de Bilbao. Los valores se representan en mg/kg excepto para el Fe, Mn y Ti (% en peso).

	PCGb Gobelas	PCS Simondrogas	PCGa Galindo	PCE Erandio	PCA Asua	PCZ Zorroza
ZONA INDUSTRIAL RECIENTE	AF 1: 22 (0-69) caparazones/15g 3 (0-7) especies caparazones transportados % arena: 23 Espesor: 1,39 m	AF 1: 6 (0-29) caparazones/15g 2 (0-7)especies caparazones transportados % arena: 18 Espesor: 8,51 m	AF 1: 6 (0-57) caparazones/15g 2 (0-11) especies caparazones transportados % arena: 59 Espesor: 6,60 m	AF 1: 12 (0-71) caparazones/15g 4 (0-11) especies caparazones transportados % arena: 16 Espesor: 5,35 m	AF 1: 8 (3-18) caparazones/15g 5 (3-8) especies caparazones transportados % arena: 18 Espesor: 1,02 m	AF 1: 6 (0-15) caparazones/15g 2 (0-4) especies caparazones transportados % arena: 19 Espesor: 0,85 m
ZONA INDUSTRIAL ANTIGUA	AF 2: 188 (0-252) caparazones/15g 23 (0-32) especies 25 (0-52) % exóticos <i>A. tepida</i> 29 (0-80) % <i>H. germanica</i> 11 (0-24) % <i>C. lobatulus</i> 10 (0-26) % <i>R. irregularis</i> 6 (0-16) % <i>C. oceanensis</i> 4 (0-11) % % arena: 77 Espesor: 2,01 m		AF 2: 1103 (79-2678) caparazones/15g 20 (12-29) especies 14 (3-29) % exóticos <i>H. germanica</i> 36 (22-52) % <i>A. tepida</i> 31 (21-57) % <i>C. oceanensis</i> 7 (3-12) % <i>R. irregularis</i> 5 (0-12) % <i>B. britannica</i> 5 (1-11) % Caparazones rellenos con pirita % arena: 49 Espesor: 3,39 m	AF 2: 405 (62-1001) caparazones/15g 20 (12-27) especies 19 (5-26) % exóticos <i>A. tepida</i> 43 (23-60) % <i>H. germanica</i> 22 (10-32) % <i>C. oceanensis</i> 10 (3-24) % <i>C. lobatulus</i> 5 (1-10) % <i>R. irregularis</i> 5 (1-9) % Caparazones rellenos con pirita % arena: 42 Espesor: 2,65 m		AF 2: 324 (1-865) caparazones/15g 8 (2-20) especies 3 (0-12) % exóticos <i>A. tepida</i> 61 (35-76) % <i>H. germanica</i> 29 (16-47) % <i>C. oceanensis</i> 5 (0-20) % Caparazones rellenos con pirita % arena: 15 Espesor: 5,15 m
ZONA PRE-INDUSTRIAL	AF 3: 1094 (32-4657) caparazones/15g 26 (19-33) especies 39 (13-65) % exóticos <i>A. tepida</i> 35 (22-55) % <i>H. germanica</i> 16 (8-24) % <i>C. lobatulus</i> 14 (4-28) % <i>R. irregularis</i> 13 (5-23) % <i>C. oceanensis</i> 5 (0-14) % Caparazones rellenos con pirita % arena: 45 Espesor: 4,60 m	AF 2: 476 (182-977) caparazones/15g 17 (15-19) especies 60 (44-69) % exóticos <i>C. lobatulus</i> 41 (29-52) % <i>A. tepida</i> 23 (18-31) % <i>H. germanica</i> 13 (7-20) % <i>R. anomala</i> 7 (5-9) % <i>R. irregularis</i> 4 (2-9) % Caparazones rellenos con pirita % arena: 70 Espesor: 1,48 m			AF 2: Asociación 2: 1192 (167-2488) caparazones/15g 28 (16-38) especies 41 (20-60) % exóticos <i>H. germanica</i> 32 (17-54) % <i>C. lobatulus</i> 17 (4-37) % <i>A. tepida</i> 12 (8-17) % <i>R. irregularis</i> 10 (5-25) % Caparazones rellenos con pirita % arena: 53 Espesor: 2,93 m	
					AF 3: 8550 (2701-22644) caparazones/15g 33 (30-38) especies 61 (42-71) % exóticos <i>R. irregularis</i> 29 (16-39) % <i>H. germanica</i> 16 (9-28) % <i>C. lobatulus</i> 13 (7-19) % <i>A. tepida</i> 11 (7-20) % Caparazones rellenos con pirita % arena: 51 Profundidad: 2,05 m	

Tabla 3-2: Resumen de los resultados microfaunísticos. Los valores individuales representan la media y entre paréntesis aparecen los rangos.

APENDICE 3-A: Relación sistemática de especies de foraminíferos bentónicos identificadas en los sondeos de época industrial de la Ría de Bilbao.

1. CAPARAZÓN AGLUTINANTE

Arenoparrella mexicana (Kornfeld) = *Trochammina inflata* (Montagu) var. *mexicana* Kornfeld, 1931
Eggerelloides scaber (Williamson) = *Bulimina scabra* Williamson, 1858
Gaudryina rudis Wright, 1900
Haplofragmoides wilberti Andersen, 1953
Jadammina macrescens (Brady) = *Trochammina inflata* (Montagu) var. *macrescens* Brady, 1870
Spirorutilis wrightii (Silvestri) = *Spiroplecta wrightii* Silvestri, 1903
Textularia bocki Höglund, 1947
Textularia sp.
Textularia truncata Höglund, 1947
Tiphrotrocha comprimata (Cushman & Brönniman) = *Trochammina compromata* Cushman & Brönniman, 1948
Trochammina inflata (Montagu) = *Nautilus inflatus* Montagu, 1808
Trochammina ochracea (Williamson) = *Rotalina ochracea* Williamson, 1858

2. CAPARAZÓN PORCELANÁCEO

Adelosina cliarensis (Heron-Allen and Earland) = *Miliolina cliarensis* Heron-Allen and Earland, 1930
Adelosina laevigata d'Orbigny, 1826
Adelosina striata d'Orbigny, 1826
Adelosina sp.
Cornuspira involvens (Reuss) = *Operculina involvens* Reuss, 1850
Massilina secans (d'Orbigny) = *Quinqueloculina secans* d'Orbigny, 1826
Miliolinella striata (Montagu) = *Vermiculum striatum* Montagu, 1803
Miliolinella subrotunda (Montagu) = *Vermiculum subrotundum* Montagu, 1803
Pateoris hauerinoides (Rhumbler) = *Quinqueloculina subrotunda* (Montagu) var. *hauerinoides* Rhumbler, 1936
Quinqueloculina aspera d'Orbigny, 1826
Quinqueloculina auberiana d'Orbigny, 1839
Quinqueloculina berthelotiana d'Orbigny, 1839
Quinqueloculina bicornis (Walker and Jacob) =

Serpula bicornis Walker and Jacob, 1798
Quinqueloculina costata d'Orbigny, 1826
Quinqueloculina dimidiata Terquem, 1876
Quinqueloculina jugosa Cushman = *Quinqueloculina seminulum* (Linné) var. *jugosa* Cushman, 1944
Quinqueloculina lata Terquem, 1876
Quinqueloculina oblonga (Montagu) = *Vermiculum oblongum* Montagu, 1803
Quinqueloculina quadrata Nörvang, 1945
Quinqueloculina rugosa d'Orbigny, 1852
Quinqueloculina seminula (Linné) = *Serpula seminulum* Linné, 1758
Quinqueloculina sp.
Spiroloculina depressa d'Orbigny, 1826
Spiroloculina excavata d'Orbigny, 1846
Spiroloculina nitida d'Orbigny, 1826
Spiroloculina sp.
Spirorutilis wrightii (Silvestri) = *Spiroplecta wrightii* Silvestri, 1903
Triloculina bermudezi Acosta, 1940
Triloculina trigonula (Lamarck) = *Miliolites trigonula* Lamarck, 1804

3. CAPARAZÓN HALINO

Acervulina inhaerens Schultze, 1854
Acervulina sp.
Ammonia tepida (Linné) = *Rotalina tepida* (Linné) var. *tepida* Cushman, 1927
Astacolus crepidulus (Fichtel and Moll) = *Nautilus crepidula* Fichtel and Moll, 1978
Asterigerinata mamilla (Williamson) = *Rotalina mamilla* Williamson, 1858
Aubignyna hamblensis Murray, Whittaker and Alve, 2000
Bolivina pseudoplicata Heron-Allen and Earland, 1930
Bolivinellina pseudopunctata (Höglund) = *Bolivina pseudopunctata* Höglund, 1947
Brizalina britannica (Macfadyen) = *Bolivina britannica* Macfadyen, 1942
Brizalina difformis (Williamson) = *Textularia variabilis* Williamson var. *difformis* Williamson, 1858
Brizalina sp.
Brizalina spathulata (Williamson) = *Textularia variabilis* Williamson var. *spathulata* Williamson, 1858
Brizalina variabilis (Williamson) = *Textularia variabilis* Williamson var. *typica* Williamson, 1958
Bulimina alazanensis Cushman, 1927

- Bulimina elongata* d'Orbigny, 1846
Bulimina gibba Fornasini, 1902
Bulimina marginata d'Orbigny, 1826
Buliminella elegantissima (d'Orbigny) = *Bulimina elegantissima* d'Orbigny, 1839
Cancris auricula (Fichtel and Moll) = *Nautilus auricula* Fichtel and Moll, 1798
Cassidulina carinata (Silvestri) = *Cassidulina laevigata* d'Orbigny var. *carinata* Silvestri, 1896
Cassidulina obtusa Williamson, 1858
Cassidulina sp.
Cibicides lobatulus (Walker and Jacob) = *Nautilus lobatulus* Walker and Jacob, 1798
Cibicides sp.
Criboelphidium excavatum (Terquem) = *Polystomella excavata* Terquem, 1875
Criboelphidium gerthi (Van Voorthuysen) = *Elphidium gerthi* Van Voorthuysen, 1957
Criboelphidium oceanensis (d'Orbigny) = *Polystomella oceanensis* d'Orbigny, 1826
Criboelphidium williamsoni (Haynes) = *Elphidium williamsoni* Haynes, 1973
Elphidium crispum (Linné) = *Nautilus crispus* Linné, 1758
Elphidium earlandi Cushman, 1936
Elphidium incertum (Williamson) = *Polystomella umbilicatulula* var. *incerta* Williamson, 1858
Elphidium macellum (Fichtel and Moll) = *Nautilus macellum* Fichtel and Moll, 1798
Elphidium magellanicum Heron-Allen and Earland, 1932
Elphidium margaritaceum (Cushman) = *Elphidium advenum* (Cushman) var. *margaritaceum* Cushman, 1930
Elphidium sp.
Epistominella vitrea Parker, 1953
Fissurina lucida (Williamson) = *Entosolenia marginata* (Montagu) var. *lucida* Williamson, 1848
Fissurina marginata (Montagu) = *Vermiculum marginatum* Montagu, 1803
Fissurina orbygniana Seguenza, 1862
Fissurina sp.
Florilus pauperatus (Balkwill and Wright) = *Nonionina pauperata* Balkwill and Wright, 1885
Gavelinopsis praegei (Heron-Allen and Earland) = *Discorbina praegei* Heron-Allen and Earland, 1913
Glabratella millettii (Wright) = *Discorbina millettii* Wright, 1911
Haynesina depressula (Walker and Jacob) = *Nautilus depressulus* Walker and Jacob, 1798
Haynesina germanica (Ehrenberg) = *Nonionina germanica* Ehrenberg, 1840
Haynesina sp.
Hyalinea balthica (Schröter) = *Nautilus balthicus* Schröter, 1783
Lagena clavata (d'Orbigny) = *Oolina clavata* d'Orbigny, 1846
Lagena laevis (Montagu) = *Vermiculum laeve* Montagu, 1803
Lagena perlucida (Montagu) = *Vermiculum perlucidum* Montagu, 1803
Lagena semistriata (Williamson) = *Lagena striata* (Walker) var. β , *semistriata* Williamson, 1848
Lagena striata (d'Orbigny) = *Oolina striata* d'Orbigny, 1839
Lagena sulcata (Walter and Jacob) = *Serpula sulcata* Walter and Jacob, 1798
Lamarckina haliotide (Heron-Allen and Earland) = *Pulvinulina haliotide* Heron-Allen and Earland, 1911
Lenticulina inortatus (d'Orbigny) = *Robulina inortata* d'Orbigny, 1846
Lenticulina sp.
Melonis pompilioides (Fichtell & Moll) = *Nautilus pompilioides* Fichtell & Moll, 1798
Nonionella atlantica Cushman, 1947
Oolina hexagona (Williamson) = *Entosolenia squamora* (Montagu) var. *hexagona* Williamson, 1848
Oolina melo d'Orbigny, 1839
Oolina squamosa (Montagu) = *Vermiculum squamosa* Montagu, 1803
Patellina corrugata Williamson, 1858
Planorbulina mediterraneensis d'Orbigny, 1826
Rosalina anomala Terquem, 1875
Rosalina irregularis (Rhumbler) = *Discorbina irregularis* Rhumbler, 1906
Rosalina sp.
Spirillina vivipara Ehrenberg, 1843
Stainforthia fusiformis (Williamson) = *Bulimina pupoides* d'Orbigny var. *fusiformis* Williamson, 1858
Svartkina sp.
Trifarina angulosa (Williamson) = *Uvigerina angulosa* Williamson, 1958
Trifarina bradyi Cushman, 1923
Uvigerina compresa Cushman, 1926
Uvigerina peregrina Cushman, 1923
Uvigerina pygmaea d'Orbigny, 1826

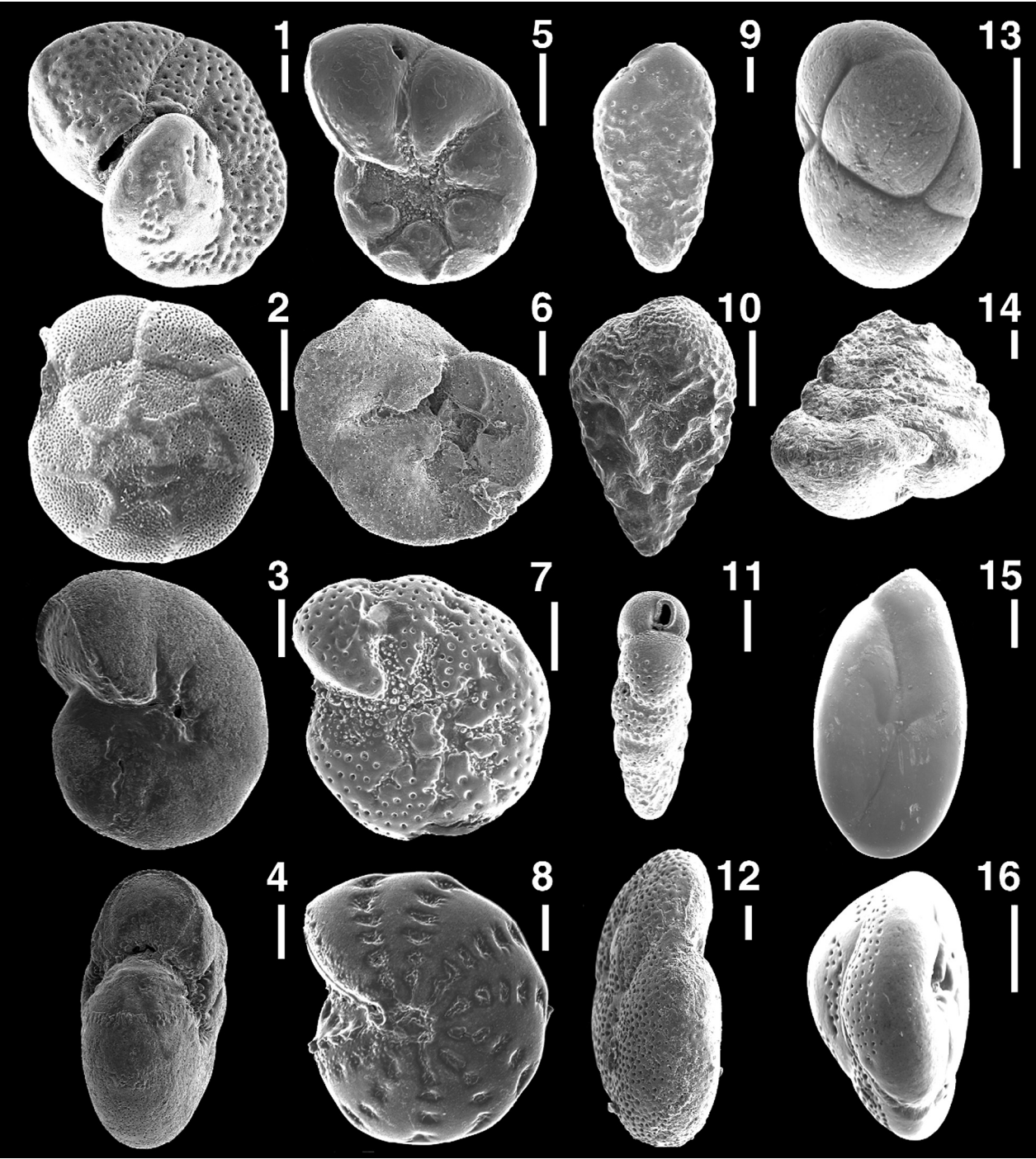


Lámina 3-1: Especies dominantes de foraminíferos bentónicos encontradas en los sondeos perforados en sedimentos de edad industrial de la Ría de Bilbao. La barra de escala indica 0,05 mm.

- | | |
|--|--|
| 1 - <i>Cibicides lobatulus</i> (Walker and Jacob, 1798), sondeo PCE-AF 2. | 9 - <i>Brizalina britannica</i> (Macfadyen, 1942), sondeo PCGa-AF 1. |
| 2 - <i>Ammonia tepida</i> (Linné, 1758), sondeo PCGb-AF 1. | 10 - <i>Bolivina pseudoplicata</i> Heron-Allen and Earland, 1930, sondeo PCE-AF 2. |
| 3 - <i>Haynesina germanica</i> (Ehrenberg, 1840), sondeo PCZ-AF 2. | 11 - <i>Brizalina variabilis</i> (Williamson, 1958), sondeo PCGa-AF 2. |
| 4 - <i>Haynesina germanica</i> (Ehrenberg, 1840), sondeo PCZ-AF 2. | 12 - <i>Rosalina anomala</i> Terquem, 1875, sondeo PCE-AF 2. |
| 5 - <i>Haynesina depressula</i> (Walker and Jacob, 1798), sondeo PCZ-AF 2. | 13 - <i>Cassidulina obtusa</i> Williamson, 1858, sondeo PCE-AF 2. |
| 6 - <i>Rosalina irregularis</i> (Rhumbler, 1906), sondeo PCE-AF 2. | 14 - <i>Textularia truncata</i> Höglund, 1947, sondeo PCE-AF 2. |
| 7 - <i>Criboelphidium oceanensis</i> (d'Orbigny, 1826), sondeo PCZ-AF 1. | 15 - <i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linné, 1758), sondeo PCGb-AF 1. |
| 8 - <i>Criboelphidium williamsoni</i> Haynes, 1973, sondeo PCE-AF 1. | 16 - <i>Asterigerinata mamilla</i> (Williamson, 1858), sondeo PCGb-AF 1. |